



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VICTOR HUGO VIDAL ARANHA

TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS POR ESGOTO DOMÉSTICO:
UMA ABORDAGEM A PARTIR DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

ITAITUBA – PA

2024

VICTOR HUGO VIDAL ARANHA

**TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS POR ESGOTO DOMÉSTICO:
UMA ABORDAGEM A PARTIR DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Itaituba, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior.

ITAITUBA – PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/Ufopa

A662t Aranha, Victor Hugo Vidal
Técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas por esgoto doméstico: uma abordagem a partir da revisão sistemática da literatura./ Victor Hugo Vidal Aranha. – Itaituba, 2024.

56 p.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior .
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Universitário de Itaituba, Bacharelado em Engenharia Civil.

1. Contaminação de água subterrânea. 2. Esgoto doméstico. 3. Bibliometria. I. Silva Junior, Marcos Antonio Barbosa da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 551.49



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao trigésimo dia do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 15h, realizou-se no auditório do Campus Universitário de Itaituba, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Victor Hugo Vidal Aranha**, intitulado por “**Técnicas de Identificação de Contaminação de Águas Subterrâneas por Esgoto Doméstico: Uma Abordagem a partir da Revisão Sistemática da Literatura**”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pelo professor **Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior**, orientador do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, a professora **Marcela Santos da Silva** e o engenheiro **Cleber Gomes de Albuquerque**. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 9,30. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, na qualidade de professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 30 de setembro de 2024.

Documento assinado digitalmente



MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR
Data: 30/09/2024 22:46:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente/orientador(a): _____.

Documento assinado digitalmente



CLEBER GOMES DE ALBUQUERQUE
Data: 30/09/2024 22:29:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

Documento assinado digitalmente



MARCELA SANTOS DA SILVA
Data: 30/09/2024 20:05:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui a minha mais profunda gratidão àqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Marcos Barbosa, e ao meu coorientador e amigo, John Witysel, pelas suas paciências valiosas e contribuições inestimáveis.

À minha família que me acompanhou desde o começo da minha jornada, meu pai Evenilson e minha mãe Valéria. Aos meus colegas. Aos meus amigos mais próximos, John, Samuel e Vinícius por estarem comigo até nos momentos mais desafiadores.

Por fim, agradeço às instituições e profissionais que colaboraram na minha formação acadêmica e realização da pesquisa.

RESUMO

A água potável é um recurso vital para o planeta. Segundo a Agência Nacional de Águas e de Saneamento Básico (ANA, 2020), 69% da água doce global é de difícil acesso, concentrada em geleiras, enquanto 30% se encontra em águas subterrâneas e apenas 1% está nos rios. Dessa forma, as águas subterrâneas representam uma parcela significativa da água potável disponível. No Brasil, elas são fundamentais para o abastecimento, com mais da metade dos municípios dependentes desse recurso. No entanto, o crescimento populacional desordenado tem levado à poluição dos aquíferos, acarretando riscos à saúde pública por meio da contaminação por substâncias tóxicas e doenças veiculadas pela água. A detecção da contaminação da água subterrânea é desafiadora devido à sua localização subterrânea. Este estudo tem como objetivo, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), avaliar as melhores técnicas para identificar a contaminação das águas subterrâneas resultante do descarte inadequado de esgoto doméstico, visando a possível aplicação de remediação ou prevenção de casos em Itaituba-PA. A RSL foi realizada utilizando o software StArt, com consultas às bases de dados Scopus e Web of Science, abrangendo as etapas de planejamento, condução e documentação. Foram identificados 256 artigos sobre o tema, dos quais 9 atenderam aos critérios da pesquisa. As técnicas mais comumente utilizadas para a identificação de contaminação por esgoto doméstico incluíram amostragem de água e análise laboratorial por espectroscopia para detecção de substâncias químicas, além da filtragem e produção de meios de cultura para a detecção de coliformes fecais. A compreensão dessas abordagens não apenas contribuirá para a preservação da qualidade das águas subterrâneas, mas também servirá como base para a formulação de políticas e práticas que visem mitigar os impactos da contaminação por esgoto doméstico, especialmente em Itaituba-PA.

Palavras-chave: Contaminação de água subterrânea. Esgoto doméstico. Bibliometria. *Software* StArt. Artigos.

ABSTRACT

Drinking water is one of the planet's most valuable resources. According to the National Water Agency (ANA, 2020), 69% of all freshwater on the planet is difficult to access, being located in glaciers, 30% in groundwater, stored in aquifers, and finally, 1% found in rivers; Therefore, groundwater represents a large portion of the world's drinking water. In Brazil, it is widely used to supply cities, after all, more than half of Brazilian municipalities need this water in some way. However, due to disorganized population growth, cities have developed in such a way that the aquifers that supply them became increasingly polluted. Pollution of aquifers poses risks to the health of the population through toxic substances or waterborne diseases; however, it is not so easy to detect when groundwater is contaminated due to its location. In this sense, the objective of this study is, through a systematic bibliographic review (SLR), to evaluate and list the best ways to identify groundwater contamination due to incorrect disposal of domestic sewage, in order to possibly remediate or prevent cases in Itaituba-PA. To this end, the SLR was conducted using the StArt software, consulting the Scopus and Web of Science databases, covering the planning, conduction and documentation stages. As a result, 256 articles related to the theme were identified, 9 of which adhered in the research. It was noted that the most commonly used techniques for identifying groundwater contamination by domestic sewage were: water sampling and laboratory analysis, using spectroscopy to detect chemical substances; and filtering and production of bacterial culture media to detect fecal coliphorms. It was concluded that a comprehensive understanding of these approaches not only contributes for preservation of groundwater quality, but also serves as a base for the formulation of policies and practices that aim to mitigate the harmful impacts of contamination by domestic sewage, especially in the city of Itaituba-PA.

Keywords: Groundwater contamination. Domestic sewage. Bibliometrics. StArt Software. Arcticles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de usuários de água subterrânea no Brasil.....	17
Figura 2 – Distribuição dos municípios segundo o uso de água subterrânea.....	19
Figura 3 – Serviços desempenhados pelas águas subterrâneas e aquíferos.	20
Figura 4 – Mapa de localização da cidade de Itaituba.....	24
Figura 5 – Mortes causadas por doenças relacionadas ao saneamento inadequado em Itaituba-PA.....	25
Figura 6 – Internações hospitalares causadas por doenças relacionadas ao saneamento inadequado em Itaituba-PA.	25
Figura 7 – Panorama geral da quantidade e disposição espacial de poços para abastecimento na área urbana de Itaituba-PA.	26
Figura 8 – Funcionamento geral de um tanque séptico.....	28
Figura 9 – Detalhes e dimensões de um tanque séptico de câmara única.	32
Figura 10 – Junção laje de fundo/paredes laterais.....	33
Figura 11 – Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.	34
Figura 12 – Diagrama representativo dos resultados da RSL.	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão dos artigos da RSL.....	36
Quadro 2 – Resumo do procedimento metodológico da RSL.....	36
Quadro 3 – Relação de artigos incluídos na pesquisa.	40
Quadro 4 – Resumo dos artigos incluídos na pesquisa.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Período de detenção dos despejos por faixa de contribuição diária.	29
Tabela 2 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.	31
Tabela 3 – Disposição dos resultados das pesquisas nas bases de dados.	38

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e de Saneamento Básico
APHA	Associação Americana de Saúde Pública
ASTER	Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRSAI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Inadequado
IAS	Instituto Água e Saneamento
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abr.	Abril
Ago.	Agosto
Dez.	Dezembro
<i>et al.</i>	<i>Et alli</i>
Fev.	Fevereiro
Jan.	Janeiro
Jul.	Julho
Jun.	Junho
m	Metros
Mai.	Maio
Mar.	Março
Nov.	Novembro
Out.	Outubro
P.ex.	Por exemplo
Set.	Setembro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	A Importância da Água Subterrânea	17
4.1.1	No Abastecimento Público das Cidades	18
4.1.2	Para Sustentabilidade dos Ecossistemas.....	19
4.2	Saneamento Básico	20
4.3	Relação entre a Qualidade das Águas Subterrâneas e a Falta de Saneamento Básico	22
4.4	A Cidade de Itaituba-PA: Águas Subterrâneas X Saneamento Básico	23
4.4.1	Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB.....	27
4.5	Parâmetros Construtivos das Fossas Sépticas	28
4.5.1	Condições Gerais	28
4.5.2	Condições Específicas	29
4.5.3	Dimensionamento do Tanque Séptico	30
5	METODOLOGIA	34
5.1	Revisão Sistemática da Literatura (RSL)	34

5.1.1 Planejamento	35
5.1.2 Condução	35
5.1.3 Documentação	36
5.2 Análise das Técnicas de Identificação da Contaminação das Águas Subterrâneas por Esgoto Doméstico	37
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1 Análise Bibliométrica.....	38
6.2 Sumarização dos Artigos	41
6.3 Técnicas de Identificação de Contaminação de Águas Subterrâneas por Esgoto Doméstico Encontradas na Literatura	44
6.4 Aplicação das Técnicas Elencadas em Eventuais Casos de Contaminação em Itaituba-PA	46
7 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais importantes para a vida no planeta, fazendo parte de inúmeros sistemas responsáveis pela manutenção do modo de vida humano. Entretanto, conforme elucidado por Morelo (2024), apesar de as fontes de água serem consideradas renováveis, atualmente sua disponibilidade está limitada e cada vez mais suas reservas estão ameaçadas devido ao uso incorreto, ao desperdício e à poluição.

A captação anual estimada de água subterrânea no mundo, a partir de 2010, supera os 1.000.000 mm³ o que a coloca como substância mais extraída do subsolo (HIRATA *et al.*, 2019). Dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (ANA, 2010) mostram que 52% dos municípios brasileiros são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas. Na cidade de Itaituba, situada na região sudoeste do Pará, por exemplo, segundo os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS de 2021 (SNIS, 2021), somente 8,57% da população é atendida com abastecimento de água tratada, enquanto mais de 90% da população é abastecida por poços escavados junto aos próprios domicílios ou por poços de uso comunitário.

Ainda segundo o SNIS (2021), a cidade não possui sistema de coleta e tratamento de esgoto e, por conta disso, fossas rudimentares e sumidouros ainda são utilizados para tal descarga. Essas técnicas, na maioria das vezes, são inadequadas e ineficientes do ponto de vista técnico, e são realizadas próximos a cursos d'água e poços de onde são captadas águas para o abastecimento humano (Lima *et al.*, 2012), podendo levar à contaminação da população.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2008), os principais riscos microbianos estão associados à ingestão de água contaminada por fezes humanas ou animais, que podem conter bactérias patogênicas, vírus, protozoários e helmintos. O esgoto doméstico é uma fonte significativa de poluentes, como patógenos e substâncias químicas, que representam sérios riscos à saúde. A presença desses contaminantes nas águas subterrâneas é particularmente preocupante devido à possibilidade de proliferação de agentes patogênicos transmitidos pela água. Em 2021, a cidade de Itaituba registrou 100 casos de infecções por doenças de veiculação hídrica e um óbito, segundo dados do DATASUS. Tais dados demonstram que a proteção das águas subterrâneas é uma questão urgente de saúde pública e que a aplicação de medidas que visem minimizar a contaminação se faz necessária.

Além disso, quando a contaminação microbiana é detectada, muitas pessoas já podem ter sido expostas. Desse modo, o fracasso na garantia da segurança da água potável pode expor a comunidade ao risco de surtos de doenças intestinais e outras doenças contagiosas (OMS, 2008). Tal fato é consoante com Staudt (2024, p. 2), ao afirmar que:

A análise de vulnerabilidade das águas subterrâneas é de grande importância para identificar em quais áreas há maior potencial para contaminação, este estudo também é importante pois a identificação de áreas mais suscetíveis pode delimitar o uso do solo superficial, sendo importante na gestão das cidades.

Portanto, dentro do contexto exposto, esta pesquisa explorou e apresentou as técnicas de identificação mais recorrentemente utilizadas para detectar a presença de substâncias derivadas do esgoto doméstico em águas subterrâneas. Para isso, fez-se uso da Revisão Sistemática de Literatura (RSL), com consulta às bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, a fim de identificar e reunir as técnicas mais abordadas na bibliografia científica mundial, ponderando, ao final desta pesquisa, uma possível aplicação em casos no município de Itaituba-PA. Por fim, acredita-se que a compreensão abrangente dessas abordagens não apenas contribuirá para a preservação da qualidade da água subterrânea, mas também servirá como base para a formulação de políticas e práticas que visam mitigar os impactos prejudiciais da contaminação por esgoto doméstico, especialmente na cidade de Itaituba-PA.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Reunir as técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas por esgoto doméstico mais abordadas na bibliografia científica mundial, a partir da Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Ademais, comenta-se sobre a possibilidade de uso das técnicas encontradas em eventuais casos de contaminação de água subterrânea por esgoto doméstico em Itaituba-PA.

2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar a análise bibliométrica para a pesquisa em foco, resultante da RSL;
- Identificar técnicas e métodos que podem ser utilizados para detecção da contaminação de águas subterrâneas por esgoto doméstico;
- Analisar os métodos e técnicas identificadas;
- Avaliar os métodos possíveis para a aplicação em casos na cidade de Itaituba-PA.

3 JUSTIFICATIVA

A disponibilidade, já limitada, da água está cada vez mais comprometida devido à contaminação dos recursos hídricos por diversos poluentes, como água oceânica, resíduos sólidos, esgoto industrial e doméstico, e agrotóxicos. No Brasil, a maioria das residências é abastecida por água de origem subterrânea, e Itaituba-PA não é exceção. Contudo, o uso disseminado de métodos rudimentares de esgotamento sanitário, como fossas sépticas e sumidouros, eleva o risco de contaminação do lençol freático, pois os fluidos percolam pelo solo, comprometendo a água de abastecimento e potencialmente provocando infecções por doenças de veiculação hídrica. Conforme afirmam Silva e Vieira (2024), a proteção das águas subterrâneas é, portanto, uma questão de saúde pública.

As águas subterrâneas, por serem invisíveis, são particularmente vulneráveis a esses contaminantes, que frequentemente são detectados apenas em estágios avançados de contaminação, quando as consequências já se tornaram evidentes. Assim, este estudo é de suma importância, pois analisa os métodos e técnicas mais eficazes para identificar a contaminação das águas subterrâneas, com um foco específico na cidade de Itaituba-PA e nas fontes de poluição relacionadas ao esgoto doméstico.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

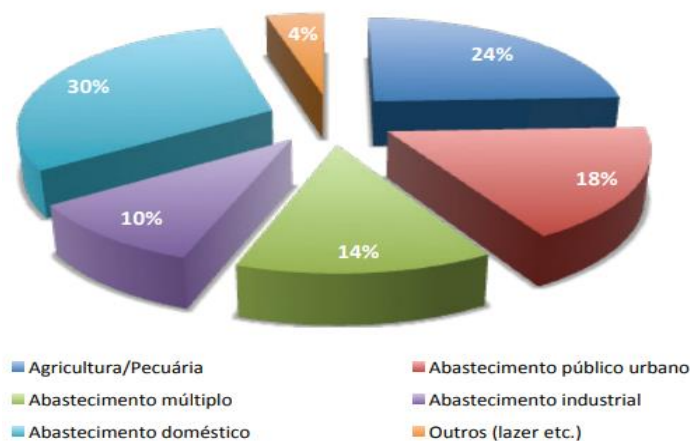
4.1 A Importância da Água Subterrânea

A água subterrânea possui um papel muito importante no abastecimento de água potável ao redor do mundo, por ser uma fonte mais confiável que as superficiais, como rios e lagos.

Zektser e Everett (2004) discorrem largamente sobre a importância das águas subterrâneas como fonte de abastecimento público em diversos países. Os autores apresentam algumas vantagens da utilização dessas fontes, em relação à superficial. Por estarem protegidas, as águas superficiais apresentam qualidade superior à superficial, além de não estarem sujeitas a flutuações multianuais e sazonais.

As reservas renováveis de águas subterrâneas no Brasil atingem cerca de 42,3 mil m³/s e representam 24% do escoamento médio dos rios em território nacional e 46% da disponibilidade hídrica superficial. Hirata *et al.* (2019), enumeram diversas atividades econômicas que utilizam essas reservas para suprir suas necessidades pelo país, sendo o seu uso distribuído entre atendimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), no qual o destino da água é em grande parte diversificado para a prestação de serviços urbanos conforme ilustra a Figura 1. Assim, se mostra necessário abordar os múltiplos usos da água e seu devido papel na garantia da subsistência humana. Segundo a ANA (2010), considerando todos os domínios, diferentes tipos de reservatórios espalhados por todo território nacional.

Figura 1 – Perfil de usuários de água subterrânea no Brasil.



Fonte: Hirata *et al.* (2019).

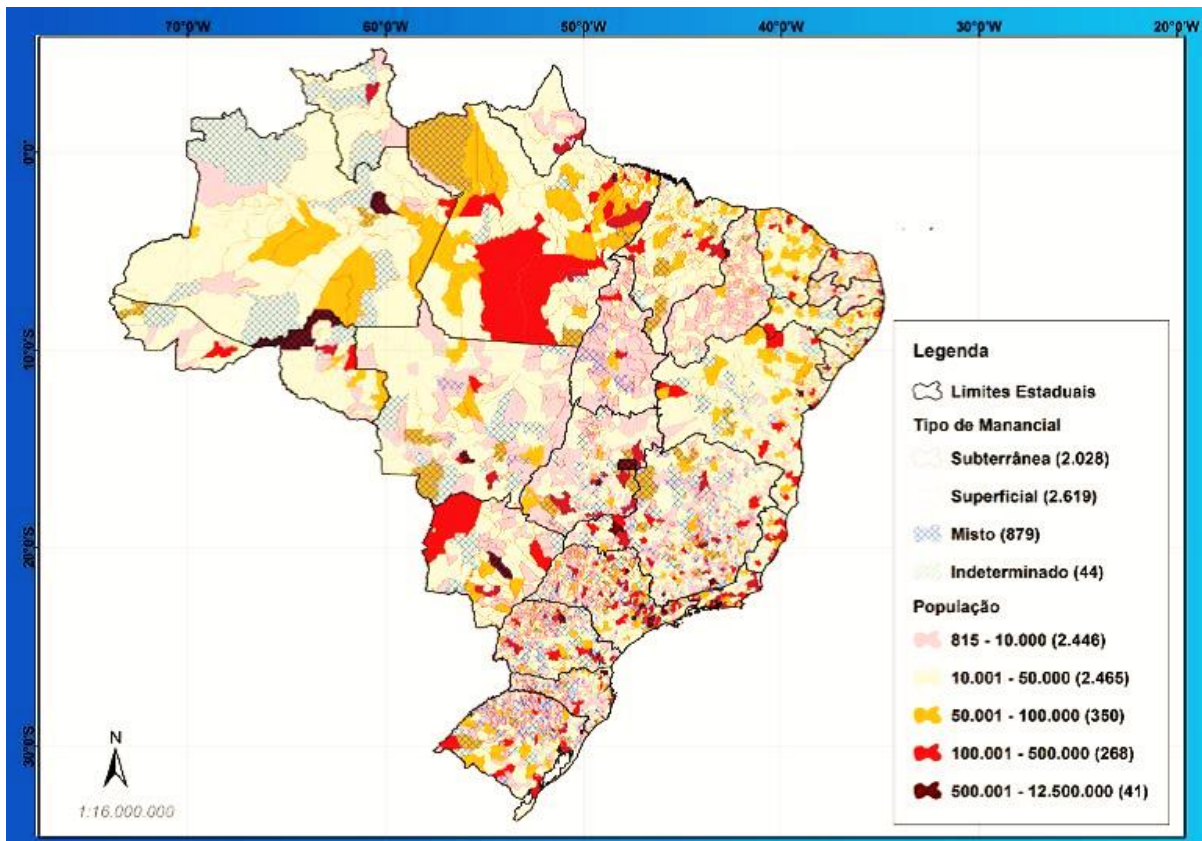
4.1.1 No Abastecimento Público das Cidades

Segundo Zektser e Everett (2004), a porção de água subterrânea em um balanço geral de abastecimento doméstico de água potável excede 70% na Áustria, Armênia, Bielorrússia, Bélgica, Hungria, Geórgia, Dinamarca, Lituânia, Suíça e Alemanha, e atinge de 50 a 70% na Bulgária, Itália, Portugal, Ucrânia e França; nos Estados Unidos da América, já na década de 1970, uma porção de água subterrânea no abastecimento municipal de água excedia 40% representada 75% de abastecimento dos sistemas municipais, fornecendo água potável para mais da metade da população do país; do mesmo modo, a água subterrânea é de grande importância no abastecimento doméstico e potável na Austrália e em alguns países da Ásia e da África; e, por fim, água subterrânea contribui mais acentuadamente no abastecimento público em países onde os recursos hídricos superficiais são escassos, como a Arábia Saudita e Líbia.

Segundo a ANA (2010), 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. Nem todo município possui sistema de abastecimento de água, e mesmo dentre os que possuem, em muitos casos, o sistema é insuficiente para abastecer a população como um todo, como é o caso de Itaituba. Por isso, a população que não recebe o abastecimento público, utiliza de poços tubulares e escavados junto aos domicílios para seu consumo de água.

Algumas redes de abastecimento também utilizam diretamente de águas subterrâneas para o abastecimento da população. A participação da água subterrânea no abastecimento de cada região é variada com a região. Segundo dados da ANA (2010), São Paulo, por exemplo, é de longe o maior consumidor de águas subterrânea em volume, extraindo 484 mm^3/ano , seguido por Minas Gerais, com 139 Mm^3/ano , Paraná, com 132 Mm^3/ano e Maranhão, com 110 Mm^3/ano . Ainda segundo a agência, a dependência por esse recurso subterrâneo é maior no estado de Roraima (75%), seguido por Rio Grande do Norte (67%), Maranhão (63%) e Mato Grosso do Sul (58%), conforme pode se observar na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição dos municípios segundo o uso de água subterrânea.



Fonte: ANA (2010).

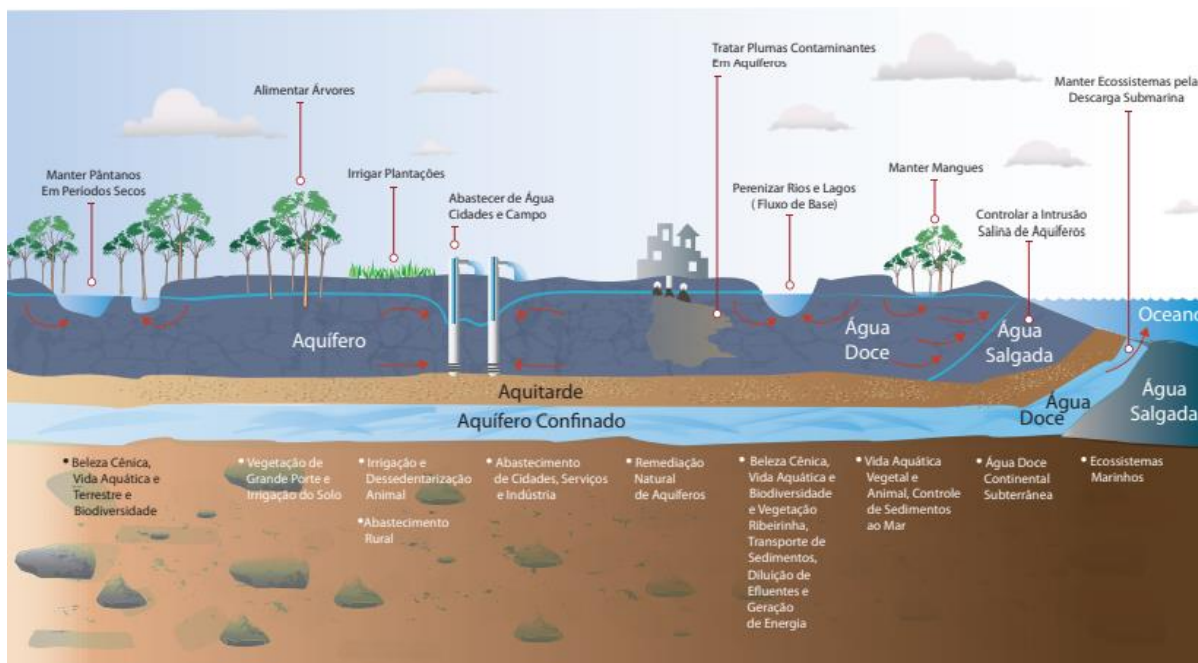
4.1.2 Para Sustentabilidade dos Ecossistemas

Hirata *et al.* (2019) afirma que a descarga das águas dos aquíferos para um corpo superficial é seguramente a mais importante função ecológica que desempenham as águas subterrâneas (Figura 3) uma vez que durante períodos de estiagem, os rios, pântanos, mangues e lagos não recebem águas provenientes das precipitações, logo, a sua perenidade é assegurada pelo fluxo de base, ou seja, pela descarga de água advinda dos aquíferos.

Consoante com Winter *et al.* (1998), ao afirmar que a precipitação, que é a fonte de praticamente toda a água do ciclo hidrológico, ocorre por todo o globo, porém, sua distribuição possui alta variação. Nesse sentido, segundo o autor, a fonte de água do lençol freático (recarga de água subterrânea) é a precipitação através da zona não saturada; enquanto no aquífero superior, não confinado, os caminhos de fluxo perto dos corpos d'água podem ter dezenas a centenas de metros de comprimento e ter tempos de viagem correspondentes de dias a alguns anos. Todavia, no geral, águas subterrâneas rasas são mais suscetíveis à contaminação de fontes

e atividades antrópicas por conta da sua proximidade com a superfície do solo.

Figura 3 – Serviços desempenhados pelas águas subterrâneas e aquíferos.



Fonte: Hirata *et al.* (2019).

Nesse sentido, entendemos as reservas de águas subterrâneas como fundamentais para a segurança hídrica e funcionamento dos ecossistemas, evitando que os corpos d'água superficiais se esgotem e sequem durante eventos climáticos extremos e intervenções antrópicas.

4.2 Saneamento Básico

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2004), saneamento é o controle de todos os fatores ambientais que podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar, físico, mental e social dos indivíduos. Este conceito engloba também ações relacionadas à drenagem urbana, gestão de resíduos sólidos, coleta e tratamento de esgoto e abastecimento de água.

A precariedade ou ausência dos sistemas de tratamento de efluentes de um determinado local aumenta o potencial de contaminação dos corpos hídricos (Cordeiro *et al.*, 2011). Já Hirata *et al.* (2019) é mais incisivo ao declarar que a falta de saneamento é uma das principais causas de contaminação de aquíferos. Muitas doenças infecciosas e parasitárias apresentam, dentre as suas principais causas, a deficiência no sistema do saneamento básico (Pepê França *et al.*,

2024). Uma vez que, conforme os autores, a carência de água tratada, de serviços de coleta dos resíduos e do tratamento de esgoto aumentam a proliferação de pragas e doenças, criando ambientes propícios para contaminação.

O acesso à água potável é crucial para a garantia da saúde pública, conforme afirmado por Silva e Vieira (2024) fazendo parte da maioria dos processos biológicos que ocorrem no corpo humano. Desse modo, quando a água não é bem tratada, têm-se a propagação de doenças infecciosas, e os casos pioram conforme a concentração de coliformes fecais provenientes de contaminação por esgoto doméstico.

Os principais contaminantes de águas subterrâneas são o esgoto doméstico, resíduos sólidos e produtos químicos residuais de farmacêuticos, indústrias ou fertilizantes. Conforme Madriles *et al.* (2024), ao afirmarem que geralmente a contaminação da água é resultante do crescimento populacional e da ocupação do solo, causando degradação da qualidade tanto da água subterrânea quanto superficial devido intervenções antropogênicas expressivas como destinação incorreta de efluentes domésticos, cemitérios e derivados do petróleo. Corroborando com Silva e Vieira (2024) ao relatarem que as atividades humanas exploratórias lançam uma gama de poluentes que, inevitavelmente, permeia os aquíferos, comprometendo a qualidade das reversas de água subterrânea e ampliando, assim, a demanda por recursos hídricos limpos para corresponder as demandas domésticas, industriais e agrícolas.

Além disso, Pepê França *et al.* (2024) dissertam sobre como a deficiência no sistema de saneamento básico contribuem para a ocorrência de doenças infecciosas e parasitárias, uma vez que, conforme exposto, a carência de água tratada, de serviços de coleta de resíduos e sistemas de tratamento de esgoto criam ambientes propícios para proliferação de pragas e doenças, aumentando os riscos de contaminação.

A Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, em seu art. 2º dispõe que os serviços públicos de saneamento básico são um direito de acesso universal (Brasil, 2007). O Novo Marco Legal do Saneamento Básico, Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), estipula metas concretas para que seja alcançada a universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto, até 2033, ou seja, até o final de 2033, 99% da população brasileira deverá ter acesso à água tratada, e 90% à coleta e tratamento do esgoto.

Em contrapartida, a maior parte das cidades brasileiras não possui sistemas que acomodem todos esses pontos. Segundo dados do SNIS (2021), 15,8% da população nacional

não possui acesso à água potável, 44,2% da população não possui coleta de esgoto e apenas 51,2% do esgoto gerado pela água consumida é tratado. A implantação de sistemas para garantir a qualidade de vida apropriada à população é desafiadora em inúmeros municípios, geralmente por questões logísticas, crescimento populacional desordenado, falta de infraestrutura e recursos financeiros limitados. Assim, apesar de o sistema básico de saneamento funcional, partindo da coleta e tratamento de esgoto, se mostrar essencial para prevenir a contaminação da água e do solo, o mesmo se mostra em uma realidade ainda distante.

4.3 Relação entre a Qualidade das Águas Subterrâneas e a Falta de Saneamento Básico

Hirata *et al.* (2019) afirma que as águas subterrâneas apresentam geralmente excelente qualidade natural e, na maior parte das vezes, dispensa-se o tratamento pós-extração, como é comum às águas de rios, lagos e açudes. Os problemas relacionados à qualidade da água dos aquíferos originam-se dos elementos químicos que incorporados à água, por rochas ou por esgoto. Por conta da forte urbanização que ocorre desde os anos 1960, o número de ocorrências de contaminação de aquíferos aumentou drasticamente, e a população mais pobre é a que mais sofre.

Segundo Ribeiro *et al.* (2007), como a recarga das águas no subsolo ocorre, na maioria dos casos, devido à infiltração da água de chuva em excesso no solo, atividades realizadas neste solo podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A coleta, o transporte, tratamento e, especialmente, a disposição final dos resíduos deve ser muito bem planejada e executada, a fim de reduzir os impactos ao ambiente e à saúde pública. Uma vez que, quando ocorre uma precipitação, a água pode carrear contaminantes dos resíduos para o solo, e deste, os contaminantes podem alcançar o lençol freático pelo processo de lixiviação, causando a contaminação. Assim como uma drenagem urbana eficiente ao evitar inundações urbanas e, portanto, a exposição da população aos contaminantes presentes nas águas sujas.

Desse modo, o saneamento básico é uma peça fundamental na garantia da saúde da população e da sustentabilidade ambiental. Os sistemas de saneamento exigem alto planejamento e considerações específicas para cada região, devendo considerar fatores antropogênicos, físicos, climáticos e hidrológicos na concepção de cada sistema, além disso, pode-se também expandir os sistemas já existentes e incrementá-los, trazendo assim a inclusão de toda a população necessitada.

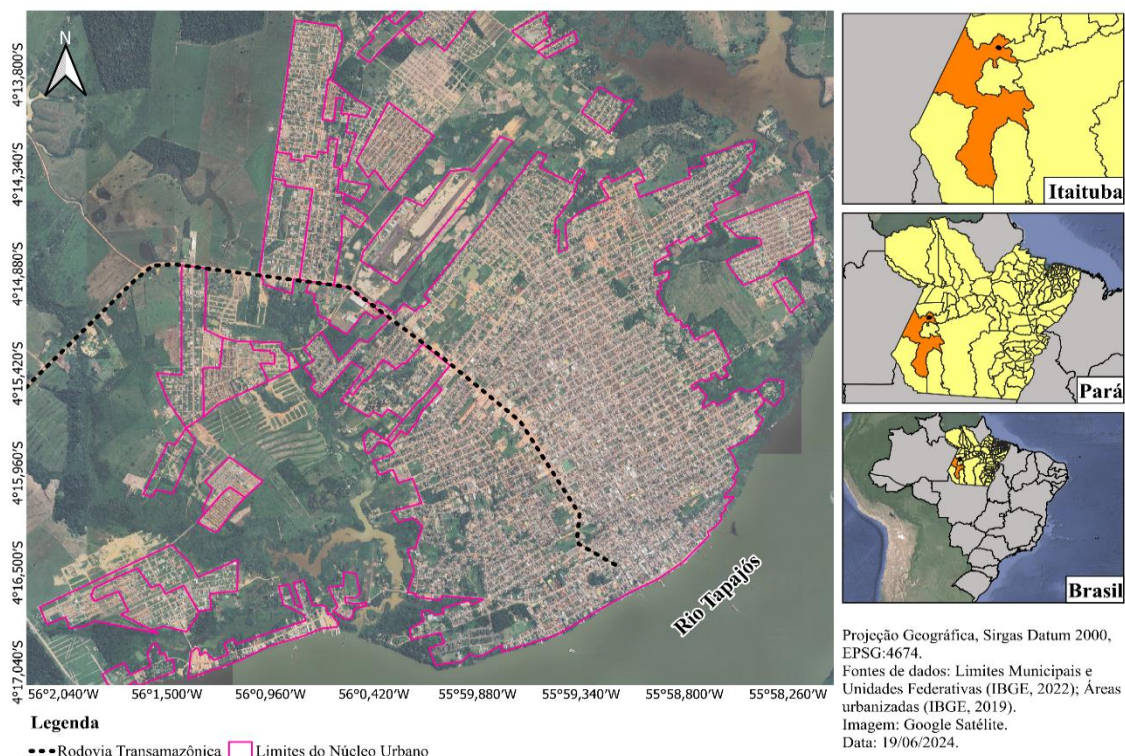
O esgoto de origem doméstica possui nutrientes e microrganismos, que podem utilizar das substâncias do esgoto para se proliferar, dando possibilidade à proliferação de doenças de veiculação hídrica. Não obstante, as doenças de veiculação hídrica são originadas por microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de diferentes categorias de infecções, geralmente através da ingestão de água contaminada (Ayach *et al.*, 2009). Esta água é contaminada devido ao vazamento de forças sépticas e sumidouros que não atendem às normas construtivas apropriadas, geralmente, por falta de conhecimento da população sobre os procedimentos executivos corretos. Quando o esgotamento adentra estes dispositivos, a água percolará o solo carregando consigo contaminantes e, logo, alcançará o lençol freático, o contaminando.

Visto isso, métodos e técnicas para identificação de contaminação de água subterrânea por esgoto doméstico, como amostragem e análise de composição, fornecem uma compressão mais abrangente e segura da qualidade da água e ajudam na identificação de possíveis contaminações, facilitando a gestão hídrica.

4.4 A Cidade de Itaituba-PA: Águas Subterrâneas X Saneamento Básico.

Localizada na mesorregião sudoeste paraense, a uma latitude 04°16'34 Sul e a uma longitude 55°59'01 Oeste, a cidade de Itaituba (Figura 4) possui uma população estimada em 123.314 habitantes em 2022 e uma extensão territorial de 62.042,472 km²; em 2019, o seu núcleo urbano possuía uma área de 33,42 km², com 2,3% de urbanização das vias públicas em 2010 (IBGE, 2023).

Figura 4 – Mapa de localização da cidade de Itaituba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O clima da região apresenta temperatura mínima superior a 18° C e a umidade relativa superior aos 80% em quase todos os meses do ano. Outro fator relevante é que as estações chuvosas de maiores intensidades ocorrem entre dezembro e junho, com índices pluviométricos próximos dos 2065 mm/ano. Não obstante, E, conforme o balanço hídrico climatológico, o excedente de água no solo aumenta nos meses de fevereiro a abril, chegando a um acumulado 884 mm (Pontes *et al.*, 2013). Corroborando com os dados obtidos pelo relatório das condições meteorológicas características de Itaituba (Weather Spark, 2023), baseado em uma análise estatística de relatórios horários históricos e reconstruções de modelo de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016, onde afirma que as estações chuvosas coincidem com os meses de dezembro a junho, sendo fevereiro o mês mais chuvoso com média de 282 mm de precipitação; e as menos chuvosas nos meses de julho a novembro, com julho sendo o menos chuvoso com média de 46 mm.

A configuração espacial da cidade de Itaituba pondera a expansão desordenada, e a ausência de planejamento territorial incide diretamente na vulnerabilidade do espaço. A realidade atual urbana mostra um cenário desenhado por um processo urbanístico sem planejamento, promovendo impactos como: ocupação irregular nas margens dos cursos d'água,

processos de assoreamento, eutrofização, interações negativas dos sistemas de drenagem urbana com os efluentes domésticos, disposição irregular dos resíduos sólidos, dentre outros (Rodrigues e Silva Junior, 2024; Silva Junior *et al.*, 2018).

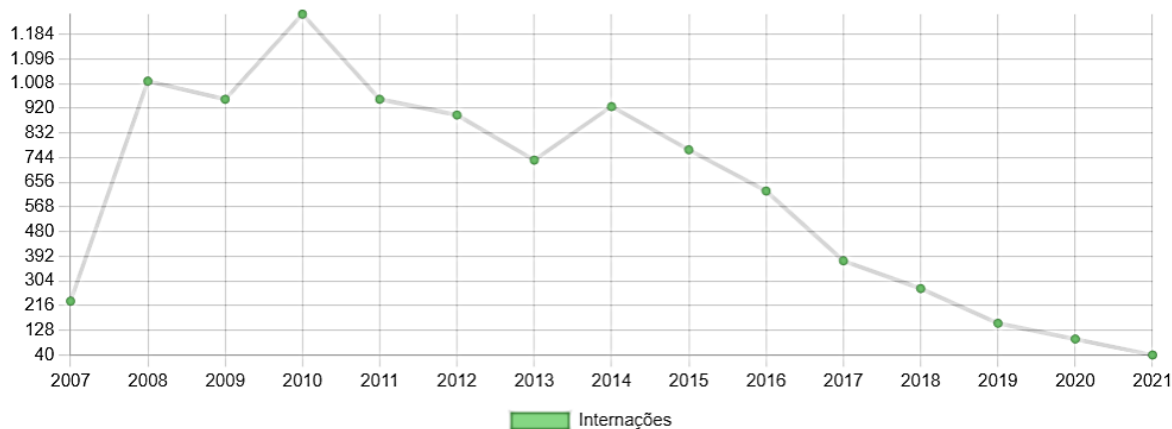
Quanto ao panorama do saneamento básico no município, a Plataforma Infosanbas (2024), de 1996 a 2020, foram registradas 237 mortes por Doenças Relacionadas ao Saneamento Inadequado (DRSAI), demonstrado na Figura 5; e mais de 9 mil internações, apenas entre os anos de 2007 e 2021, conforme exposto na Figura 6.

Figura 5 – Mortes causadas por doenças relacionadas ao saneamento inadequado em Itaituba-PA.



Fonte: INFOSANBAS (2024).

Figura 6 – Internações hospitalares causadas por doenças relacionadas ao saneamento inadequado em Itaituba-PA.



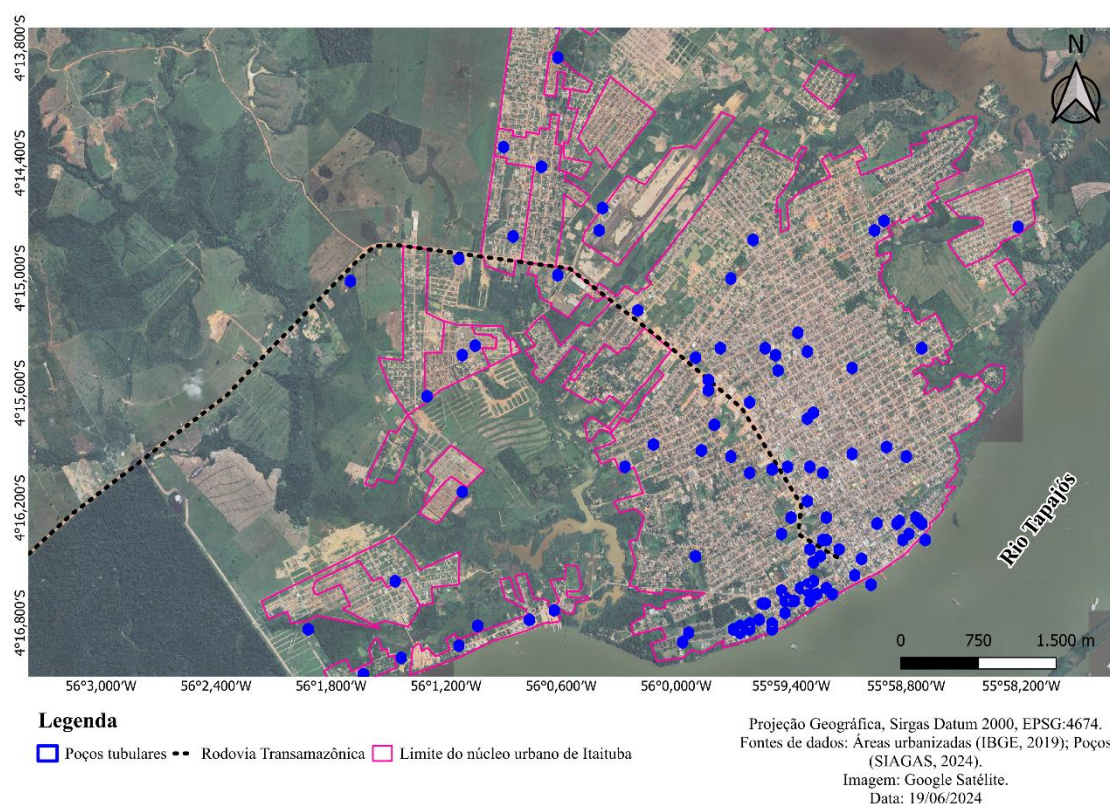
Fonte: INFOSANBAS (2024).

O Instituto Água e Saneamento (IAS, 2024) dispõe que, em Itaituba, somente 8,06 % da população é atendida com abastecimento de água, indicado que mais de 90% da população

é abastecida por poços escavados junto aos próprios domicílios ou por poços de uso comunitário (Figura 7); sendo que 113.371 habitantes não têm acesso à água; não há informações disponíveis no SNIS sobre esgotamento sanitário, indicando que não há cobertura do serviço no município; apenas 44,22 % da população é atendida com coleta de resíduos domiciliares, sendo que não se declara a prática de coleta seletiva de resíduos, e 30.418 habitantes não tem o lixo recolhido; quanto à drenagem de águas pluviais, apenas 15,73 % da população é atendida com esse serviço, e cerca de 5,2 % dos domicílios do município estão sujeitos à inundação.

Além disso, a plataforma declara que, até 2022, apesar do município ter o mapeamento de áreas de risco, não existem sistemas de alerta para riscos hidrológicos; e a política municipal de saneamento ainda estava em elaboração, sendo que não possuía nem conselho municipal de saneamento, nem fundo municipal de saneamento (IAS, 2024).

Figura 7 – Panorama geral da quantidade e disposição espacial de poços para abastecimento na área urbana de Itaituba-PA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.4.1 Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB

Em 19 de dezembro 2023, o gabinete do prefeito municipal de Itaituba aprovou, sancionou e publicou a Lei Municipal Nº 4.031/2023 onde institui a Política Municipal de Saneamento Básico, dispõe o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), e dá outras providências. Segundo a Lei Municipal Nº 4.031/2023, a Política Municipal de Saneamento Básico tem por finalidade garantir a salubridade do território urbano e rural do município de Itaituba, além do bem-estar ambiental de seus habitantes (Itaituba, 2023).

A fim de garantir os objetivos estipulados na Política Municipal de Saneamento Básico, foi instituído o PMSB como instrumento de planejamento objetivando: diagnosticar a situação sobre salubridade ambiental do município e de todos os serviços de saneamento; definir diretrizes gerais; projetar estados progressivos a fim de alcançar metas de curto, médio e longo prazo; definir destinação de recursos financeiros e programa de investimento e obras relativas à cobertura do serviço de saneamento.

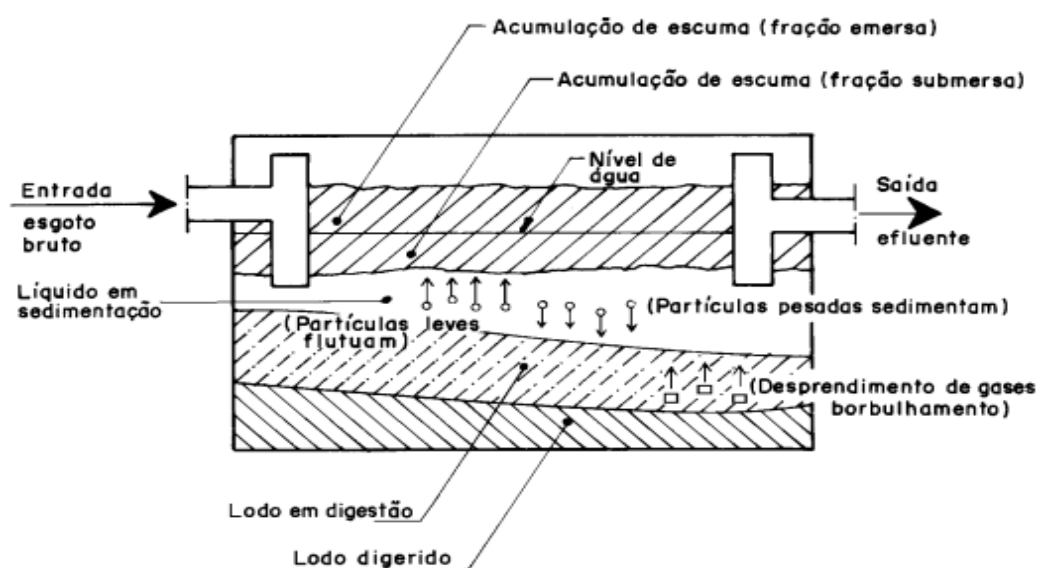
Quanto ao abastecimento de água, a Lei Nº 4.031 (Itaituba, 2023) declara que cabe ao governo municipal instituir uma gestão sustentável e integrada dos mananciais subterrâneos e superficiais; garantindo uma disponibilidade hídrica condizente com a demanda e promovendo a conservação dos recursos hídricos através da proteção e controle de poluição, cabendo a gestão o controle rigoroso da qualidade dos serviços de abastecimento. Se destaca a preocupação municipal em aumentar o conhecimento sobre o sistema de recursos hídricos, através da criação e manutenção de um sistema integrado de monitoramento dos recursos hídricos, associando um sistema de banco de dados de informações com a realização de estudos aplicados e de pesquisa relacionados com o sistema de saneamento, como o presente estudo.

No quesito do esgotamento sanitário, conforme a Lei (Itaituba, 2023), cabe ao poder público municipal promover a ampliação da cobertura do serviço nas populações urbana e rural, priorizando os investimentos para a implementação de um sistema de esgotamento sanitários, sobretudo em supressão da utilização de fossas rudimentares ou o lançamento direto dos efluentes domésticos nas redes pluviais ou meio ambiente. Nesse sentido, ao implantar, ampliar /ou melhorar a infraestrutura para tratamento de esgoto e despoluição dos corpos hídricos, visa-se proteger e valorizar os mananciais, com destaque aos destinados ao consumo humano; além de controlar e prevenir os riscos de poluição dos corpos hídricos. Nesse sentido, observamos o alinhamento dos objetivos da gestão municipal de saneamento com as dessa pesquisa.

4.5 Parâmetros Construtivos das Fossas Sépticas

De acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), uma fossa séptica, ou tanque séptico, é uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão. Sedimentação é o processo em que, por gravidade, sólidos em suspensão se separam do líquido que os continha. Digestão, por sua vez, é a decomposição da matéria orgânica em substâncias progressivamente mais simples e estáveis. O sistema séptico, além de reduzir com muita eficiência a matéria orgânica, é também eficiente no controle de bactérias, microrganismos e substâncias orgânicas prejudiciais à saúde (Vanderlinde *et al.*, 2021).

Figura 8 – Funcionamento geral de um tanque séptico.



Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

4.5.1 Condições Gerais

De acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), o sistema de tanques sépticos aplica-se primordialmente ao tratamento de esgoto doméstico e seu uso é indicado somente para áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto, como alternativa à rede coletora local ou quando a rede coletora local não possui diâmetro ou declividade suficiente para o transporte de efluente

livre de sólidos sedimentáveis.

O sistema deve preservar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, mediante as restrições da Norma, que incluem a vedação do encaminhamento de água pluviais e despejos capazes de afetar negativamente o processo de tratamento, devendo garantir também a disposição final do efluente e do lodo (ABNT, 1993).

4.5.2 Condições Específicas

De acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), os tanques sépticos devem observar as seguintes distâncias horizontais mínimas: 1,50 m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água; 3,0 m de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água; 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza.

Segundo a Norma, os materiais empregados na execução dos tanques sépticos, tampões de fechamento e dispositivos internos devem possuir resistência mecânica adequada às solicitações de cargas horizontais e verticais, para garantir a estabilidade em face de veículos, reaterros, sobrecargas nas edificações, pressões horizontais de terra e carga hidráulica devida à sobrelevação de lençol freático, e resistência ao ataque químico de substâncias contidas no esgoto afluyente ou geradas no processo de digestão.

No cálculo da contribuição de despejos, deve ser sempre considerado: o número de pessoas a serem atendidas; 80% do consumo local; e, em prédios em que haja, simultaneamente, ocupantes permanentes e temporários, a vazão total de contribuição corresponde à soma das vazões correspondentes a cada tipo de ocupante.

Os tanques sépticos devem ser projetados para períodos mínimos de contenção, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Período de detenção dos despejos por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24

Tabela 1: Continuação.

De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

4.5.3 Dimensionamento do Tanque Séptico

O volume útil total do tanque séptico deve ser calculado pela Equação 1:

$$V = 1000 + N(CT + KLf) \quad (1)$$

Onde:

V = volume útil, em litros.

N = número de pessoas ou unidades de contribuição.

C = contribuição de despejos em litros/pessoa X dia ou litros/unidade X dia.

T = período de detenção em dias.

K = Taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo.

Lf = contribuição de lodo fresco, em litros/pessoa X dia ou em litro/unidade X dia.

Os tanques sépticos podem ser cilíndricos ou prismáticos retangulares, com os cilíndricos sendo empregados em situações onde se pretende minimizar a área útil em favor da profundidade e os prismáticos retangulares sendo empregados quando se deseja mais área horizontal e menos profundidade.

A depender dos resultados da fórmula anterior, o tanque séptico deve atender a dimensões específicas: a profundidade útil varia entre os valores mínimos e máximos

recomendados na Tabela 4, de acordo com o volume útil obtido mediante a fórmula; o diâmetro interno mínimo, para fossas cilíndricas, deve ser de 1,10 m; para fossas prismáticas retangulares, a largura interna mínima deve ser de 0,80 m. A relação comprimento/largura (para tanques prismáticos retangulares) deve ser de 2:1 no mínimo e 4:1 no máximo.

Tabela 2 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m³)	Profundidade mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

A depender do formato, para o melhor desempenho, a Norma recomenda 3 câmaras em série para tanques cilíndricos e 2 câmaras em série para tanques prismáticos retangulares, devendo serem construídos, em ambos os casos, numa proporção de 2:1 em volume, da entrada para a saída.

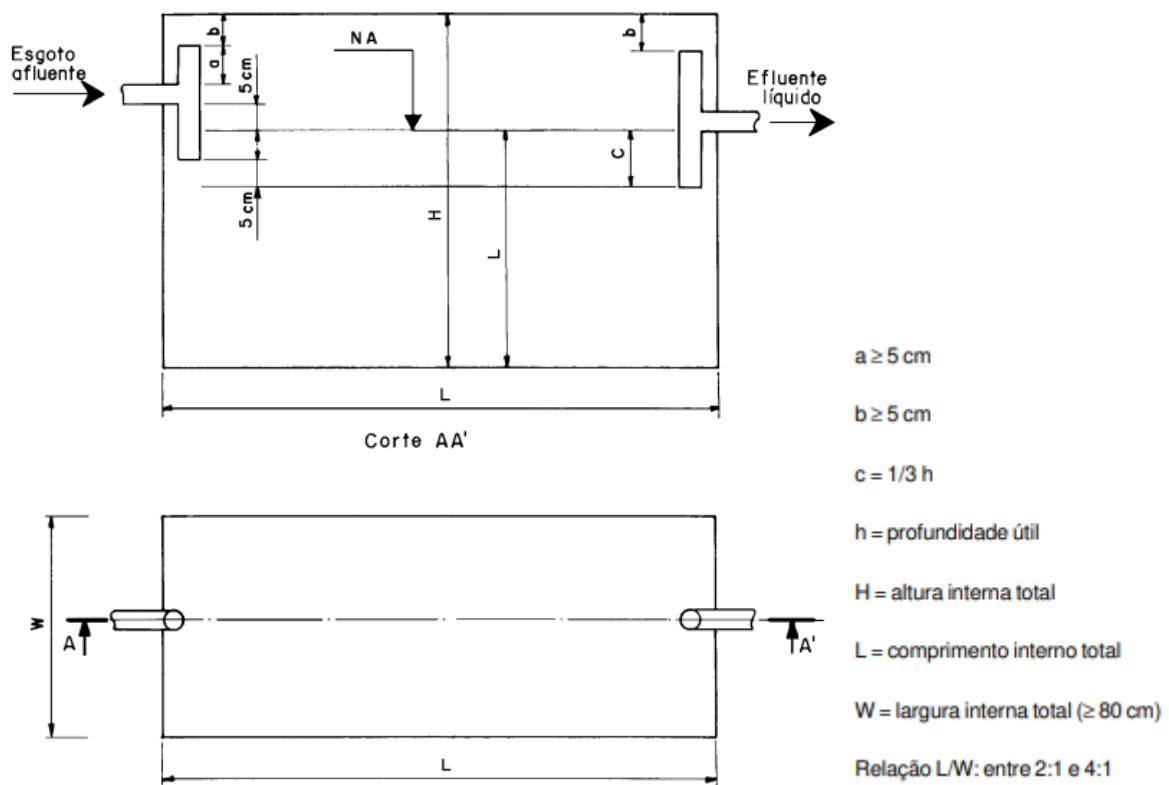
As câmaras devem comunicar-se mediante aberturas com área equivalente a 5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre elas. A distância vertical mínima da extremidade ou geratriz superior da abertura ao nível do líquido é de 0,30 m; a distância vertical mínima da extremidade inferior da abertura à soleira do tanque deve ser a metade da altura útil para tanques dimensionados para limpeza a intervalos de até três anos, e dois terços da altura útil para tanques dimensionados para limpeza a intervalos superiores a três anos. A menor dimensão de cada abertura deve ser de 3 cm (ABNT, 1993).

A Norma define que os dispositivos de entrada e saída, constituídos por três sanitários ou septos, devem observar as seguintes relações de medidas (ABNT, 1993):

- a) dispositivo de entrada: parte emersa, pelo menos 5 cm acima da geratriz superior do tubo de entrada, e parte imersa aprofundada até 5 cm acima do nível correspondente à extremidade inferior do dispositivo de saída;

- b) dispositivo de saída: parte emersa nivelada, pela extremidade superior, ao dispositivo de entrada, e parte imersa medindo um terço da altura útil do tanque a partir da geratriz inferior do tubo de saída;
- c) as geratrizes inferiores dos tubos de entrada e saída são desniveladas em 5 cm;
- d) entre a extremidade superior dos dispositivos de entrada e saída e o plano inferior da laje de cobertura do tanque, deve ser preservada uma distância mínima de 5 cm.

Figura 9 – Detalhes e dimensões de um tanque séptico de câmara única.



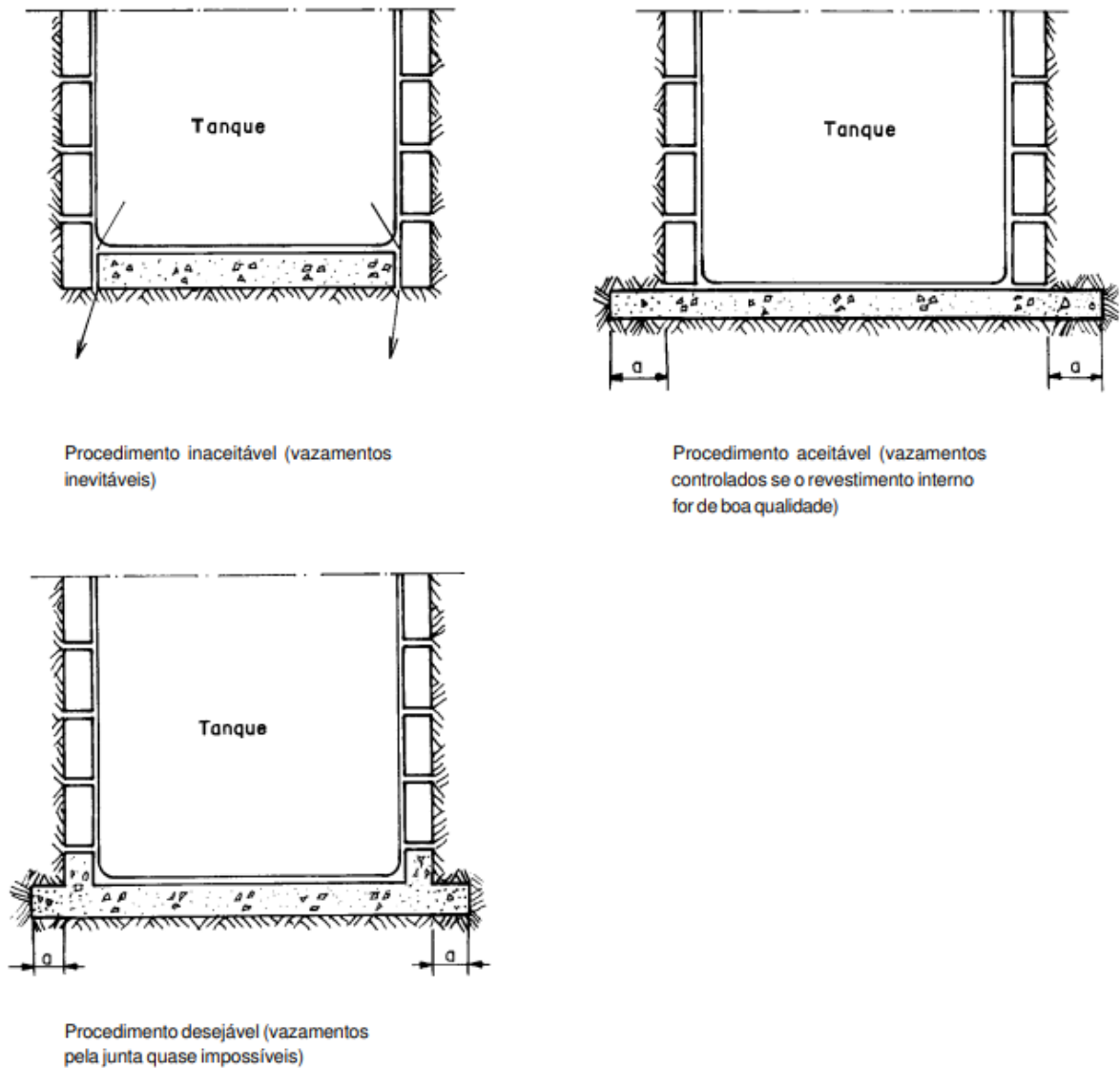
Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Para tanques sépticos de uso coletivo, com aproximadamente $6,0 \text{ m}^3$ de volume interno, os requisitos de estabilidade são, em geral, atendidos por construções em alvenaria de tijolo inteiro (espessura de 20 cm a 22 cm, fora revestimento) ou por concreto armado, moldado no local, com espessura de 8 cm a 10 cm.

A laje de fundo deve ser executada antes da construção das paredes, os tanques devem ser estanques e os construídos em alvenaria devem ser revestidos, internamente, com material de desempenho equivalente à camada de argamassa de cimento e areia no traço 1:3 e espessura

de 1,5 cm.

Figura 10 – Junção laje de fundo/paredes laterais.



Nota: a = dimensão de acordo com dimensionamento para não-flutuação devido ao empuxo.

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Conforme a Norma, os tanques devem conter uma placa de identificação contendo o nome do fabricante, data de fabricação, temperatura de referência, condições de utilização e dizer que foi dimensionado conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993).

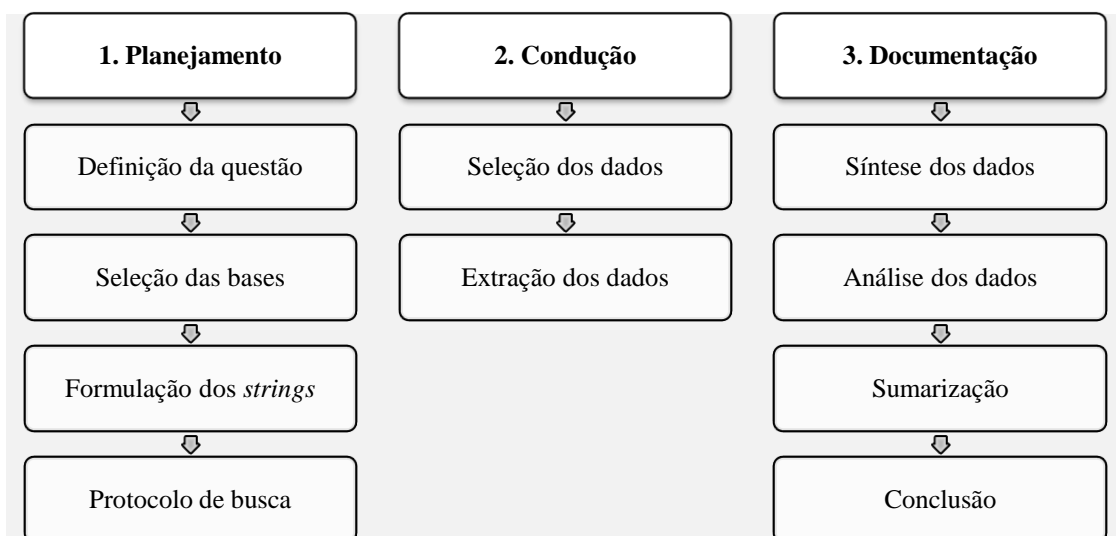
5 METODOLOGIA

5.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

De acordo com Ocaña-Fernandez e Fuster-Guillén (2021), o artigo de revisão bibliográfica é uma metodologia de pesquisa observacional, retrospectiva, sistemática, orientada para a seleção, análise, interpretação e discussão de posturas teóricas, resultados e conclusões consubstanciadas em artigos científicos divulgados nos últimos anos sobre um tema de escolha, a fim de obter informações relevantes que contribui para a solução de problemas. Segundo Rojas e Torres (2014), uma Revisão Sistemática da Literatura é um resumo de investigações que se enfoca em uma pergunta clínica determinada de maneira estruturada e reproduzível. Assim, este estudo partiu de uma RSL, utilizando-se da ferramenta de protocolo *State of the Art through Systematic Review (StArt)*, versão 3.0.3 BETA, *software* desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES), da Universidade Federal de São Carlos (LaPES UFSCar, 2017).

A pesquisa dividiu-se em três etapas: planejamento, condução e documentação. Na fase planejamento, foram definidas as questões de pesquisa, a seleção das bases de dados, a formulação das *strings* e o preenchimento do protocolo de busca. Na fase de condução, ocorreu a seleção e extração dos dados. Por fim, na fase de documentação, procedeu-se a síntese e análise dos dados, a sumarização e a conclusão da RSL. A Figura 11 apresenta as fases da RSL.

Figura 11 – Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.1.1 Planejamento

Nessa fase ocorreu a definição da questão de pesquisa, que buscou identificar quais são os métodos mais comuns de identificação de contaminação de águas subterrâneas por esgoto doméstico com o questionamento principal acerca de qual seria o melhor método a ser utilizado em uma possível aplicação em Itaituba-PA. A escolha das bases de dados visou a abrangência e a relevância dos artigos na área de engenharia. A formulação das *strings* de busca partiu de palavras-chave, combinadas a descritores *booleanos* (*AND* e *OR*), executadas em várias tentativas até a obtenção dos melhores resultados. Concluiu-se essa fase com o preenchimento do protocolo de busca, com: título, objetivo, questão, palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão e resultados esperados. As bases de dados escolhidas foram a *Scopus* e a *Web of Science*, e as palavras-chave utilizadas nas *strings* foram: “*domestic sewage*”, “*identification techniques*”, “*underground water*”, “*underground water pollution*” e “*water pollution*”. As limitações da RSL compreenderam o tipo de publicação, o recorte temporal, o idioma e o tipo de acesso, conforme a seguir:

- Tipo de publicação – artigos publicados em periódicos ou de conferência;
- Recorte temporal – de 2000 a 2023;
- Idioma dos artigos – português e inglês;
- Tipo de acesso – aberto ou texto completo disponível.

5.1.2 Condução

Essa fase foi executada no *software* StArt, onde ocorreu a seleção dos dados a partir da exclusão dos artigos duplicados e que não apresentaram os termos de busca no título, palavras-chave e resumos. Apenas estudos primários referentes ao tema foram selecionados. Para a extração dos dados foram considerados os critérios de inclusão e exclusão, para que apenas os artigos aderentes a pesquisa fossem aceitos na filtragem, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão dos artigos da RSL.

Critérios	Descrição dos Critérios de Inclusão (CI)
CI-1	Fala sobre contaminação de água subterrânea por esgoto doméstico
CI-2	Aborda técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas
Critérios	Descrição dos Critérios de Exclusão (CE)
CE-1	Duplicado
CE-2	Não fala sobre contaminação de água subterrânea por esgoto doméstico
CE-3	Não aborda técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foi feita a partir da leitura do resumo, introdução e metodologia dos artigos.

Na sequência, os artigos passaram pelos critérios de qualidade, que levaram em consideração a coerência e coesão textual dos artigos, se o desenho metodológico era claro e replicável, bem como se atendiam os objetivos da RSL. A extração dos dados levou em consideração os critérios de elegibilidade, em que foi respondido se “houve” ou “não houve” a extração de dados do artigo.

5.1.3 Documentação

Essa fase compreendeu a síntese dos dados utilizando-se as ferramentas StArt, Excel e Word. A análise ocorreu de forma cautelosa a partir dos dados obtidos na fase de síntese. Em prosseguimento, realizou-se o processo de sumarização das informações, por meio da elaboração de fluxograma e gráficos, a fim de melhor apresentar a análise descritiva dos dados encontrados. O Quadro 2 mostra o resumo do procedimento metodológico da RSL.

Quadro 2 – Resumo do procedimento metodológico da RSL.

FASE DE PLANEJAMENTO	Ferramentas de pesquisa	Entregas
	Plataforma Sucupira da CAPES	Definição da questão
		Seleção das bases de dados

Quadro 2: Continuação.

	<i>Scopus e Web of Science</i>	Formulação das <i>strings</i> de busca
	StArt	Protocolo de busca
FASE DE CONDUÇÃO	Atividades usando o StArt (identificação e triagem)	Entregas
	Seleção dos dados	Identificação e separação dos conteúdos
	Extração dos dados	Formatação do texto
FASE DE DOCUMENTAÇÃO	Atividades usando o StArt, Excel e o Word (inclusão)	Entregas
	Síntese dos dados	Atendimento aos objetivos, confecção dos quadros, gráficos e fluxograma, e a redação final do Trabalho de Conclusão de Curso.
	Análise dos dados	
	Sumarização	
	Conclusão	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.2 Análise das Técnicas de Identificação da Contaminação das Águas Subterrâneas por Esgoto Doméstico

Após a seleção dos artigos aderentes à pesquisa, foram reunidas as técnicas abordadas nos estudos, focando nos métodos e procedimentos adotados para a detecção da contaminação e do poluente, bem como nas soluções para a remediação de águas contaminadas.

Na sequência, foi conduzida uma avaliação das técnicas identificadas na análise bibliométrica para eventuais casos, em Itaituba-PA, de contaminação das águas subterrâneas por esgoto doméstico. Também foram reunidos e discutidos alguns estudos desenvolvidos no local.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise Bibliométrica

Ao executar a busca pelos bancos de dados, foram encontrados 256 artigos, dos quais 77 (30,08%) foram encontrados na plataforma *Web of Science* e 179 (69,92%) na plataforma *Scopus*. A Tabela 1 apresenta as *strings* e filtros utilizados na pesquisa inicial:

Tabela 3 – Disposição dos resultados das pesquisas nas bases de dados.

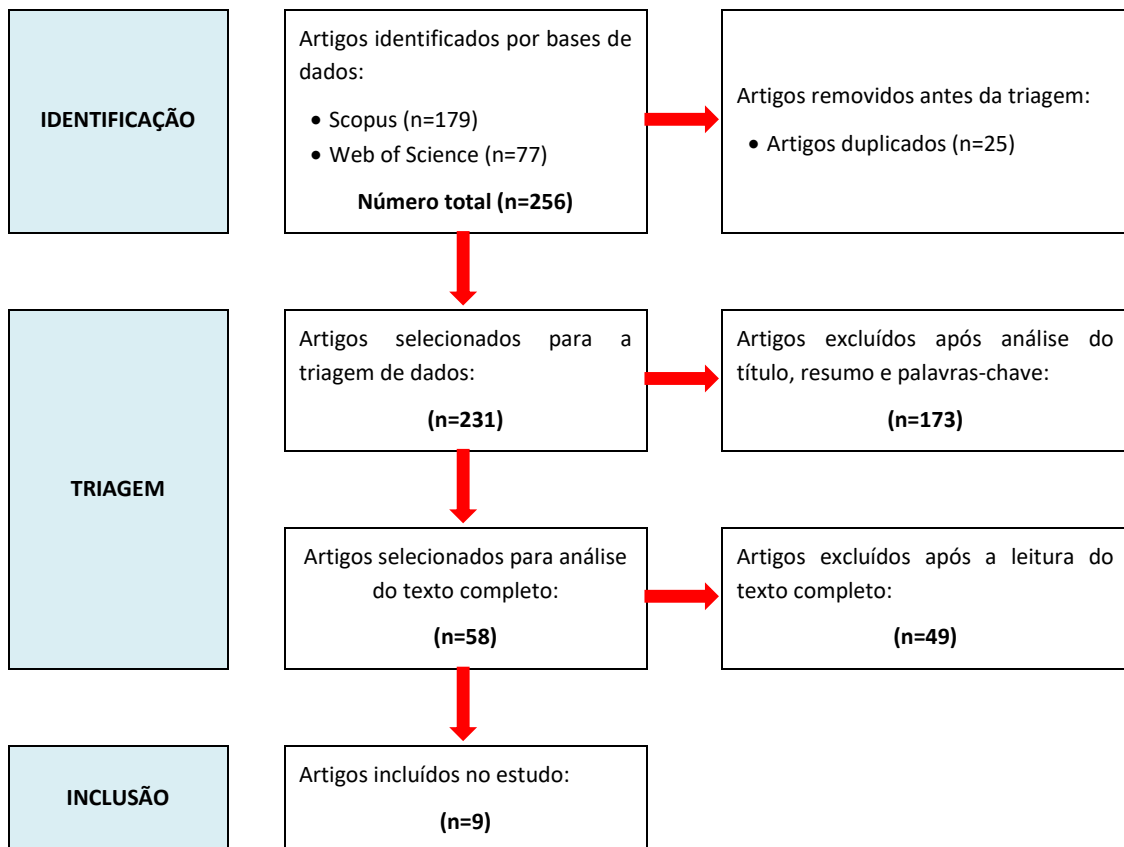
Base de Dados	Data da pesquisa	String da busca	Filtros de Conteúdo	Resultados
<i>Web of Science</i>	21/11/2023	<i>contamination AND “underground water”</i>	<i>All fields</i> Tipo de documento: Artigo Categoria <i>Web of Science</i> : Recursos Hídricos	31
<i>Web of Science</i>	21/11/2023	techniques AND “underground water”AND contamination	TOPIC Tipo de documento: Artigo	28
<i>Scopus</i>	21/11/2023	<i>techniques AND “underground water”AND contamination</i>	<i>Article title, Abstract, Keywords</i> Tipo de documento: Artigo	92
<i>Scopus</i>	22/11/2023	<i>contamination AND “underground water” AND sewage</i>	<i>Article title, Abstract, Keywords</i> Tipo de documento: Artigo	87
<i>Web of Science</i>	23/11/2023	<i>detection AND “underground water” AND contamination</i>	TOPIC Tipo de documento: Artigo	18

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Utilizando da função de remoção automática de artigos duplicados do StArt, 13 artigos foram eliminados, assim, 243 artigos foram considerados hábeis para seleção prévia. Após análise manual, mais 12 artigos duplicados foram eliminados. Ao aplicar os critérios de inclusão e exclusão, 173 artigos foram eliminados por não abordarem sobre: i) contaminação de águas subterrâneas derivada de esgoto doméstico; ii) sobre técnicas de identificação de contaminação ou iii) termos de busca no título, resumo ou palavras-chave.

Após a leitura completa dos 58 artigos obtidos, 49 foram rejeitados e apenas 9 foram aceitos e selecionados para inclusão no estudo. Todos os artigos aprovados para seleção final advêm da base de dados *Scopus*, conforme exposto na Figura 12 e no Quadro 3.

Figura 12 – Diagrama representativo dos resultados da RSL.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 3 – Relação de artigos incluídos na pesquisa.

TÍTULO	AUTORES	ANO	PAÍS	REVISTA
A - Total and faecal coliforms presence in cenotes of Cancun; Quintana Roo, Mexico.	Jessica Borbolla-Vazquez; Paul Ugalde-Silva; José León-Borges; Job Alí Díaz-Hernández	2020	México	BioRisk
B - Assessment of Groundwater Decontamination Processes around a Dismantled Septic Tank Using GIS and Statistical Analysis.	Tamás Mester; György Szabó; Zsófi Sajtos; Edina Baranyai; Emöke Kiss; Dániel Balla	2023	Hungria	Water Science and Technology
C - Analysis of Nitrate and Physicochemical properties of Ground and Underground Water in Northern Bijapur district, Karnataka India.	MS Yadawe; AS Pujar, US Pujeri; SC Hiremath	2011	Índia	Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences
D - Ground water quality in downtown Srinagar, Kashmir.	Adnan Abubakr; Neelofar; Nuzhat; M.R.D.Kundangar	2004	Índia	Ecology, Environment and Conservation
E - Identification of Water Contamination Sources Using Hydrochemical and Isotopic Studies—The Kozłowa Góra Reservoir Catchment Area (Southern Poland).	Kinga Ślósarczyk; Sabina Jakóbczyk-Karpierz; Andrzej Jarosław Witkowski	2022	Polônia	Water Science and Technology
F - Groundwater chemical and fecal contamination assessment of the Jerba unconfined aquifer, southeast of Tunisia.	Faiza Souid; Belgacem Agoubi; Mohamed Hamdi; Faten Telahigue; Adel Kharroubi	2017	Tunísia	Arabian Journal of Geosciences
G - Combining boron isotopes and carbamazepine to trace sewage in salinized groundwater: a case study in Cap Bon, Tunisia.	Cary L.; Casanova J; Gaaloul N; Guerrot C	2013	Tunísia	Applied Geochemistry
H - Application of Factor and Cluster Analyses in the Assessment of Sources of Contaminants in Borehole Water in Tanzania.	Twaha A. Basamba1; Kassim Sekabira; C. Mary Kayombo; Paul Ssegawa	2013	Uganda	Polish Journal of Environmental Studies
I - Avaliação da qualidade da água de poços tabulares do lençol freático na cidade de Paracuru-Ceará, Brasil.	Carlos Virgilio Aparecido do Vale Peixoto; Liana Johann	2021	Brasil	Revista Águas Subterrâneas

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quanto ao local de origem dos artigos, foi possível identificar que: 1 é do Brasil, 1 da Hungria, 2 da Índia, 1 do México, 1 da Polônia, 2 da Tunísia e 1 da Uganda. A Organização das Nações Unidas - ONU, classifica os países desenvolvidos usando como critério a sua posição no ranking de Índice de Desenvolvimento Humano - IDH (UNPD, 2020). Desse modo, foi possível observar que, 6 dos 9 artigos selecionados (67%) correspondem a países em desenvolvimento ou emergentes (considerando IDH entre 0,555 e 0,799, segundo a ONU); e 1 sendo considerado subdesenvolvido (IDH abaixo a 0,555).

Nesse sentido, observa-se uma tendência de pesquisas quanto a métodos de identificar contaminação de águas subterrâneas como uma preocupação ainda recente em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos.

6.2 Sumarização dos Artigos

A sumarização corresponde à síntese resultante dos artigos incluídos na pesquisa, elucidando o contexto no qual o estudo se inseria, o método utilizado, os resultados obtidos diante a eficácia do método adotado e as medidas paliativas sugeridas para as problemáticas encontradas. Nesse sentido, foi possível observar discrepâncias e congruências nos plurais artigos envolvidos, conforme disposto no Quadro 4.

Quadro 4 – Resumo dos artigos incluídos na pesquisa.

AUTORES	RESUMO
Borbolla-Vazquez; Ugalde-Silva; León-Borges e Díaz-Hernández (2020).	O crescimento urbano acelerado e desenvolvimento de novas atividades econômicas resultam na maior produção e descarte irregular de efluentes, como coliformes fecais, prejudicando a qualidade da água. Nesse sentido, os autores partiram da identificação da presença e concentração dos coliformes fecais em dez cenotes (poços naturais) localizados na área urbana e proximidades de Cancún - México. A metodologia baseou-se na técnica de O Número Mais Provável (NMP) e a coleta de amostras foi realizada nos períodos secos e chuvosos. Como resultado, foi identificada a presença de coliformes em todas as áreas de estudo, com ênfase na maior concentração destes durante os períodos chuvosos. Sugeriu-se, então, a necessidade de identificação da origem dos poluentes e o impacto subsequente.

Quadro 4: Continuação.

Mester; Szabó; Sajtos; Baranyai; Kiss e Balla (2023).	Fossas sépticas são o método mais utilizado para a coleta de esgoto residual em todo o mundo, no entanto, tornou-se comum a construção de fossas sépticas não-isoladas. Para determinar os impactos de uma fossa séptica permeável na microrregião de Nagy-Sárrét, Hungria, foi utilizado de espectrometria de emissão atômica com plasma de micro-ondas para detecção de substâncias e o método de KMnO4 para determinação de DQO. Amostras foram retiradas sazonalmente em 10 poços de monitoramento ao redor da fossa numa área de 1100 m². Medições analíticas revelaram um nível significativo de contaminação das águas subterrâneas no período operacional da fossa séptica, com concentrações extremamente altas de NH4+ (>90 mg/L) e DQO sendo observadas. Além disso, foi detectada significativa melhoria na qualidade da água após o desmantelamento da fossa séptica. Logo, sugeriu-se o incentivo ao aumento da utilização de fossas sépticas isoladas.
Yadawe; Pujar, Pujeri e Hiremath (2011).	O nitrogênio, em ambientes com alta concentração de material orgânico, é decomposto e se torna nitrato. A alta concentração de nitrato em água potável, por sua vez, é um forte indicador da contaminação por infiltração de esgoto e, logo, um risco. Para investigar a qualidade da água em um distrito no nordeste de Bijapur, Karnataka - Índia, foram coletadas amostras e a quantidade de nitrato presente na água foi medida pelo Método do Ácido Fenoldisulfônico. Como resultado, foram encontradas algumas amostras com concentração elevada de nitratos, enquanto as demais apresentaram concentrações que se enquadravam nos limites padronizados. Se sugere que as atividades remediativas devem focar nos fatores principais de origem, como nutrientes de atividades agrícolas e industriais.
Adnan Abubakr; Neelofar; Nuzhat; M.R.D.Kundangar (2004).	No vale da Caxemira, dotado de recursos hídricos abundantes, há uma grande preocupação com o abastecimento de água potável nas áreas urbanas por conta da degradação dos corpos d'água. Nesse sentido, este estudo partiu da análise de dez fontes de água potável subterrânea utilizando o método adaptado de Winkler para a determinação de DQO; outros parâmetros químicos foram determinados de acordo com os métodos da APHA, AWWA, WPCF (1997) utilizando um espectrofotômetro DR-4000UV. Os resultados mostraram que as águas subterrâneas são alcalinas e apresentam alta condutividade; com concentração de diversos tipos de substâncias: cálcio, magnésio, ferro, fósforo, sulfatos, nitrato de nitrogênio, cloretos, ortofosfatos e nitrogênio amônico. Além disso, foram notados consideráveis valores de DBO devido à contaminação dos aquíferos por infiltração de esgoto doméstico. Sugeriu-se que as autoridades competentes fizessem um tratamento mais rigoroso da água antes da distribuição à população.

Quadro 4: Continuação.

SI'ósarczyk; Jakóbczyk-Karpierz e Witkowski (2022).	<p>Segundo os autores, a aplicação conjunta de métodos, como o de análise hidroquímica e análise isotópica, facilita a compressão da origem dos componentes químicos da água e também na identificação de contaminantes no meio aquático. Portanto, este estudo parte da identificação de fontes contaminantes que afetam a qualidade da água em Kozłowa Góra, sudeste da Polônia. Para isso, foram coletadas 100 amostras de água superficial e subterrânea. Parâmetros físico-químicos foram mensurados mediante visitas in loco. Também fora realizada análise química mediante laboratório e análise isotópica de enxofre e oxigênio usando o método de precipitação de SO_4^{2-} e BaSO_4. Desse modo, foi constatado que a maior fonte de contaminação são as águas provenientes de esgotamento sanitário e atividades agropecuárias. Foi possível observar que as águas subterrâneas são amplamente prejudicadas pela infiltração de esgoto proveniente do vazamento de fossas sépticas. Sugeriu-se que o próprio estudo pudesse ser usado para novos estudos de monitoramento de origem e migração de microcontaminantes nas águas da região.</p>
Faiza Souid; Belgacem Agoubi; Mohamed Hamdi; Faten Telahigue; Adel Kharroubi (2017).	<p>No sudeste da Tunísia, no Mar Mediterrâneo, a Ilha de Jerba possui um clima semiárido, o que torna a água subterrânea da região a principal fonte de abastecimento de água. O estudo objetiva analisar a qualidade da água subterrânea a partir do método DRASTIC e definir as fontes de poluição presentes. Amostras de água de poços foram coletadas em 79 locais diferentes em 2014 durante a estação chuvosa, as quais tiveram sua condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), traçadores principais e fecais (bactérias coliformes) analisados. Verificou-se que 63,29% das águas analisadas eram salgadas, 27,84% eram águas salobras e apenas 8,86% das águas eram consideradas doces. Foram detectadas altas concentrações de nitrato em 50,63% dos poços cujas águas foram amostradas. Coliformes termotolerantes e E. coli foram detectados em todas as amostras. A descarga de esgoto doméstico foi apontada como principal fonte poluidora da ilha. Foi sugerida a redução de fontes fecais através da construção de latrinas dentro das normas de segurança.</p>
Cary; Casanova; Gaaloul e Guerrot (2013).	<p>Na costa leste de Cabo Bon, Tunísia, a sobre-exploração causou degradação do aquífero de Korba, resultando na invasão do aquífero pela água do mar e contaminação por esgoto doméstico. Desta forma, este estudo objetivou detectar a contaminação por esgoto doméstico analisando a presença de Boro, a partir da técnica TIMS-positiva Cs_2BO_2, método descrito por Millot <i>et al.</i> (2011), e de Carbamazepina (um remédio antiepilético) a partir de extração em fase sólida on-line acoplada ao sistema LC-ESI-MS/MS; em amostras coletadas de piezômetros de controle e poços privados durante os verões de 2009 à 2011. Os resultados apresentaram traços de Boro nas águas subterrâneas e nas águas oriundas de tratamento de esgoto, havendo quantidades consideráveis de carbamazepina nas águas tratadas. Dessa forma, o sistema de tratamento de esgoto foi denominado como ineficiente e deve ser altamente aprimorado antes de devolver as águas tratadas à natureza.</p>

Quadro 4: Continuação.

Twaha, Basambal; Sekabira; Kayombo e Ssegawa (2013).	Muitos países em desenvolvimento, devido ao crescimento populacional, sofrem com a crescente indisponibilidade de água potável, que se tornou mais crítica por conta da contaminação por esgoto doméstico e efluente industrial. Este estudo visa avaliar a qualidade da água na cidade de Dar es Salam, Tanzânia. A água foi coletada de 16 perfurações no solo de diferentes regiões da cidade ao longo de 4 meses e foi analisada em laboratório utilizando o método de fermentação em tubos múltiplos. Outros parâmetros foram analisados utilizando o sistema Palintest. Os resultados apresentaram altas concentrações de cálcio e STD para todas as amostras e, em algumas, alumínio. Os coliformes totais excederam o limite máximo permitido nas amostras das escolas de educação primária Shauri Moyo e Kigog. Sugeriu-se que a água deve ser tratada ou fervida antes do consumo.
Peixoto e Johann (2011).	Atualmente, o ritmo do crescimento populacional das cidades brasileiras é mais acelerado ao da construção de obras de infraestrutura capazes de suportar esse crescimento, levando a serviços de saneamento deficientes. Neste estudo, buscou-se caracterizar os recursos hídricos subterrâneos da cidade de Paracuru-CE através da análise de amostras de 20 poços artesianos antes e após o Verão de 2019. Qualidade da água e número de colifagos foram determinados a partir de métodos padrões da APHA. Os números de coliformes totais, fecais e de estreptococos fecais foram determinados através da técnica de membrana filtrante, utilizando-se de M-ENDO ÁGAR, MFC-ÁGAR e KF Streptococos Ágar como meios de cultura. Dentre os resultados apresentados, observou-se que 35% das amostras de água estão contaminadas por bactérias heterotróficas, 90% com coliformes fecais e 15% com Escherichia coli.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6.3 Técnicas de Identificação de Contaminação de Águas Subterrâneas por Esgoto Doméstico Encontradas na Literatura

Quanto à seleção de métodos para identificação de contaminação, os artigos sumarizados apresentaram plurais metodologias, entre elas: análise estatística como agrupamento hierárquico, análise de componente principal e discriminante; ferramentas auxiliaadoras como SIG e Mapa de Elevação Global ASTER; e instrumentos laboratoriais como espectrômetros e cromatógrafos.

Desse modo, é nítido que os procedimentos metodológicos variaram de acordo com a caracterização do objeto de estudo ou da área a ser estudada. Todavia, de uma maneira geral, é observável uma tendência de funcionamento processual nos métodos utilizados, sendo estas: coleta de amostras; análise laboratorial a fim de identificar presença de matéria orgânica ou de

substâncias característicos de esgoto doméstico; e determinação do nível de contaminação dos corpos d'água amostrados.

Dos 9 artigos analisados, 6 artigos (A, B, D, F, H e I) utilizaram de métodos de detecção de matéria orgânica, dos quais 4 artigos (A, F, H e I) buscaram por Coliformes Fecais e 2 (B e D) por Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os 3 artigos restantes (C, E e G) buscavam por contaminação por substâncias derivadas de esgoto doméstico como nitratos, fosfatos, substâncias artificiais ou metais pesados. Para a busca completa destes contaminantes, todos os artigos utilizaram de análise extensiva de amostras de água das suas áreas de estudo.

Apesar de serem diferentes, os métodos utilizados por alguns artigos são similares em funcionamento ou em objetivo. Para a identificação dos micróbios presentes nas amostras, 3 artigos (A, F e I) utilizaram de métodos padronizados pela APHA para a filtração e produção de meios de cultura para o desenvolvimento das bactérias, enquanto 1 (H) utilizou do processo de fermentação similar ao anterior. Para a determinação de DQO, os 2 artigos utilizaram do método de Winkler, porém o artigo D adaptou para utilizar sulfato de manganês ($MnSO_4$) ao invés de permanganato de potássio ($KMnO_4$) como fez o artigo B.

O método utilizado pelo artigo A para determinar coliformes totais foi o método de Número Mais Provável onde, inicialmente, adicionam-se as amostras de água em tubos com meio líquido rico em lactose. Após incubação por 48 horas para coliformes totais e 24 horas para coliformes fecais, os tubos que apresentarem turbidez e presença de gás são dados como positivos para a presença de coliformes. Em seguida, se calcula o número de microrganismos em uma amostra de 100 ml comparando o número de tubos positivos com tabelas estatísticas listadas na norma mexicana NMX-AA042-SCFI-2015 (2015). Este método é similar aos métodos utilizados aos utilizados pelos artigos F, H e I.

O método utilizado pelos artigos B e D para determinação de DQO foi o método de Winkler, onde Permanganato de Potássio é adicionado às amostras em um meio, que oxida a matéria orgânica presente na amostra. Durante a reação, o permanganato é reduzido e sua quantidade consumida é proporcional à quantidade de matéria orgânica presente na amostra. Assim, para determinar o DQO, basta calcular o quanto de permanganato de potássio não reagiu em comparação com a quantidade que reagiu.

Quanto aos métodos de identificação de substâncias nas amostras de água, 4 artigos utilizaram de espectrometria (B, D, E e G), 2 artigos usaram cromatografia (F e G) e 1 usou do método do ácido fenoldissulfônico (C). Estes métodos são usados para detectar, principalmente,

a presença de nitratos, substâncias abundantes em águas residuais domésticas. A espectrometria é uma técnica que detecta a razão massa sobre a carga (m/z) de íons, os quais são provenientes de uma fonte de ionização. Esta fonte gera íons na fase gasosa, a partir de moléculas neutras ou de moléculas carregadas (Abdelnur, 2011). Cromatografia é uma técnica utilizada para a separação dos componentes de uma mistura. A separação cromatográfica é baseada na distribuição dos componentes entre uma fase estacionária e uma fase móvel. Esta separação resulta das diferenças de velocidade dos componentes arrastados pela fase móvel devido às diferentes interações com a fase estacionária (Peres, 2002). A partir dos resultados, pode-se determinar que tipos de substâncias estão presentes em uma determinada amostra. Além dos dois primeiros métodos anteriores, 1 artigo também utilizou de pontecimetria (G), para a detecção de bicarbonatos, e extração de fase sólida para a detecção de carbamazepina, um anti-epilético característico de esgoto doméstico, conhecido por não ser removido mesmo após o tratamento do esgoto.

Quanto às soluções dadas pelos autores para solucionar os problemas encontrados, 3 artigos (A, C e E) enfatizaram a importância da identificação dos pontos de origem dos poluentes, sugerindo monitoramento da migração dos poluentes para que as autoridades responsáveis possam controlar a entrada de poluentes na água destinada ao consumo. Nesse contexto, 3 artigos focaram na descarga do esgoto (B, F e G), onde 2 artigos sugeriram a construção de fossas sépticas dentro das normas regulamentadoras para a população (B e F) e 1 artigo sugeriu um tratamento de esgoto mais rigoroso (G). Além disso, 2 artigos sugerem a melhoria do tratamento da água antes do envio ao consumidor (D e H).

Quanto à origem dos poluentes no esgoto, além de águas residuais domésticas, 6 artigos (C, D, E, F, G e H) citam também atividades agrícolas ou industriais como outras fontes de poluentes. Isso mostra que o problema de contaminação da água pode ser mais complexo do que se poderia imaginar.

6.4 Aplicação das Técnicas Elencadas em Eventuais Casos de Contaminação em Itaituba-PA

A fim de analisar a qualidade da água provenientes de poços tubulares na área urbana do município de Itaituba, Baima *et al.* (2023) coletaram amostras de 6 poços tubulares nos principais bairros da cidade, em pontos comerciais e de distribuição de água com duas ou mais

torneiras de acesso público para captação, a fim de realizar análise físico-química e análise microbiológica. Para tal, as amostras foram analisadas no laboratório de análises de água do VIGIÁGUA –Vigilância da Água, da Vigilância em Saúde, Secretaria de Saúde -Prefeitura Municipal de Itaituba, mediante o Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2013), avaliando os parâmetros de cloreto, turbidez, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Dessa forma, os autores puderam obter como resultados análises de qualidade de água dentro da normalidade, destacando: ausência de cloro residual livre (CRL) na maioria dos pontos, podendo permitir a presença de patógenos; identificação da presença de coliformes totais em 2 poços observados, podendo indicar a proliferação de bactérias e, logo, doenças de veiculação hídrica. Por fim, os autores concluem ressaltando a aprovação dos pontos de distribuição de água como apropriados, porém ressaltam o risco do abastecimento público proveniente de poços tubulares diante de um cenário de falta ou precariedade do saneamento básico, colaborando como uma grave problemática de saúde pública uma vez que impacta diretamente na segurança e qualidade da água. Nesse sentido, é sugerido investimentos no sistema de tratamento e distribuição de água para toda população da cidade de Itaituba/PA.

Do mesmo modo, Brito *et al.* (2021), considerando que em Itaituba a maior parte da população não é abastecida por um sistema de distribuição de água, portanto, utilizam de poços tubulares próprios ou comunitários; visaram analisar a qualidade da água consumida pelos moradores locais. Para tal, foi realizada a coleta de 4 amostras em 2 pontos próximo ao Auto Posto Dado, Bairro da Floresta, às margens da Rodovia Transamazônica. Para a coleta das amostras foi utilizado o método da mão limpa versus mão suja. Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, cor, turbidez; e microbiológicos: Coliformes totais e *Escherichia coli*. Para tal, as metodologias utilizadas partiram: o pH das amostras foi determinado fazendo uso de um pH-metro devidamente calibrado; para determinar a turbidez, foi utilizado um turbidímetro; a cor foi determinada pelo método de comparação visual com o disco de cor; para as análises microbiológicas foram utilizados Colilert, tanto para detecções e confirmação de coliformes totais e *E. coli* fecais de água tratada. Desse modo, os autores puderam obter: valores de pH, turbidez e cor dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente (BRASIL, 2017); todas as amostras apresentaram resultados insatisfatórios do ponto de vista microbiológico, segundo a legislação vigente, com destaque a presença de tanto de coliformes totais quanto *E. coli*, indicando que a água é imprópria para consumo humano, conforme BRASIL (2017). Além disso, os autores ressaltam que a água proveniente do ponto de distribuição é obtida diretamente em torneiras, sem nenhum tratamento prévio, estando fora dos padrões de potabilidade definido

pela legislação. Nesse sentido, se considerou como necessário uma constante monitoração, em parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água; assim como a adoção de medidas para o tratamento alternativo da água, garantindo as condições de potabilidade exigidas.

Nesse sentido, considerando os resultados obtidos mediante RSL e aplicação prática em casos locais, se indica a realização de coleta de amostras e análise laboratorial, sobretudo de parâmetros microbiológicos, como o método de mais fácil aplicação e controle na cidade de Itaituba. Do mesmo modo, considerando a dificuldade de avaliação de um corpo d'água confinado e notando que a coleta de amostras é premeditada por indícios, muitas vezes já consumados, de contaminação (como a falta de saneamento básico); se faz necessária a criação de um programa regular de controle de qualidade a fim de garantir as condições de potabilidade de forma simples e periódica. Tal qual dispõe os princípios do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiágua), conforme BRASIL (2024), uma vez que consiste no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública nas diferentes esferas de atuação, a fim de garantir à população o acesso à água em quantidade compatível com a demanda e padrão de potabilidade estabelecido mediante legislação vigente.

7 CONCLUSÕES

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental no abastecimento humano e na manutenção dos ecossistemas. No entanto, sua disponibilidade está cada vez mais ameaçada, especialmente pela contaminação proveniente de esgoto doméstico e outras fontes poluidoras, o que representa riscos tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente.

Por estarem localizadas sob a superfície, essas fontes são mais difíceis de monitorar, o que torna a gestão dos recursos hídricos um grande desafio. Nesse contexto, o estudo das técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas é essencial, pois revela a complexidade e a urgência desse problema ambiental, que afeta tanto a saúde pública quanto a engenharia sanitária. A contaminação, muitas vezes, resulta da infiltração inadequada de esgotos domésticos, fruto de sistemas de esgotamento mal planejados ou ineficazes.

A análise de diferentes métodos, desde os tradicionais até os mais avançados tecnologicamente, reforça a necessidade de uma abordagem integrada e abrangente para a detecção de diversas fontes poluidoras. Este estudo evidenciou que as técnicas mais comumente utilizadas para identificar a contaminação por esgoto doméstico incluem a amostragem de água, análise laboratorial por espectroscopia para detectar substâncias químicas, e a filtragem com produção de meios de cultura bacteriana para a detecção de coliformes fecais. No entanto, essas técnicas geralmente são aplicadas quando o risco de contaminação já é elevado ou quando já há registros de doenças de veiculação hídrica.

Dada a diversidade das vias de transmissão de doenças relacionadas à água contaminada, torna-se essencial adotar medidas preventivas, como sugerem Santos (2023) e Madriles et al. (2024). A amostragem regular da água subterrânea continua sendo uma das formas mais eficazes para identificar contaminantes e suas fontes, sendo recomendável a implementação de programas de monitoramento sistemático dos poços públicos.

Um exemplo concreto seria uma pesquisa mais detalhada sobre a aplicação de métodos eficazes de identificação de contaminação no campus da Universidade Federal do Oeste do Pará, em Itaituba, com a coleta de amostras não apenas do poço da instituição, mas também de residências e outras instituições no Bairro Maria Madalena. Isso permitiria o desenvolvimento de um plano de monitoramento do lençol freático integrado com a comunidade, assegurando o acesso contínuo a água potável e de qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELNUR, Patrícia Verardi. **Metabolômica e Espectrometria de Massas**. Circular Técnica, 10. 1. ed. Brasília, 2011.
- ABUBAKR, Adnan; NEELOFAR, Nuzhat; KUNDANGAR, M. R. D. Ground Water Quality in Downtown Srinagar, Kashmir. National Institute of Aquatic Ecology, J&K LWDA, Srinagar Kashmir, India, 2004.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Brasil. Abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Brasília, 2010.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama das águas**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>. Acesso em: 22 de ago. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- AYACH, Lucy Ribeiro, *et al.* **Contaminação das águas subterrâneas por coliformes: Um estudo na cidade de Anastácio-MS**. Rio Claro: CLIMEP – Climatologia e estudos da paisagem Rio Claro. v. 4, n. 1, 2009.
- BAIMA, S. F. S.; ABOIM, E. da C.; ALMEIDA, A. D. S. de; NASCIMENTO, W. da S. do; SOARES, H. M. de S. ; LIRA, J. R. de S. Análise da qualidade da água de poços tubulares na zona urbana de Itaituba, Pará, Brasil. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], v. 37, n. 1, p. e–30213, 2023. DOI: 10.14295/ras.v37i1.30213. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30213>. Acesso em: 24 set. 2024
- BASAMBA, Twaha A. et al. Application of factor and cluster analyses in the assessment of sources of contaminants in borehole water in Tanzania. 2013.
- BORBOLLA-VAZQUEZ, Jessica et al. Total and faecal coliforms presence in cenotes of Cancun; Quintana Roo, Mexico. **BioRisk**, v. 15, p. 31-43, 2020.
- BRASIL. FUNASA -Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água -4. ed. – Brasília: Funasa, 2013. 150 p.
- BRASIL. Lei Nº 11.455, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis n os 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=3&data=08/01/2007>. Acesso em 28 nov. 2023.
- BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições

do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da União**, Brasília. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20o%20Quadr%20de,%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias.%E2%80%9D&text=VI%20%2D%20outras%20a%C3%A7%C3%B5es%20e%20atividades,%C2%A7%201%C2%BA%20\(Revogado\)..](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20o%20Quadr%20de,%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias.%E2%80%9D&text=VI%20%2D%20outras%20a%C3%A7%C3%B5es%20e%20atividades,%C2%A7%201%C2%BA%20(Revogado)..) Acesso em 28 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº5 de 28 de setembro de 2017**. Dispõe a consolidação das normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html> Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>. Acesso em 24 set. 2024.

BRITO, Brendson Carlos; FREDERICO, Jéssica da Silva Linhares; MELO, Sérgio de. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE POÇOS LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA-PA.. In: Anais do XIX Encontro de Estudos e Debates sobre Águas Doces de Santarém e do Baixo Amazonas. Anais...Santarém(PA) on-line, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/FOPIESS2021/336623-ANALISE-FISICO-QUIMICA-E-MICROBIOLOGICA-DA-AGUA-DE-POCOS-LOCALIZADOS-NO-MUNICIPIO-DE-ITAITUBA-PA>. Acesso em: 24 set. 2024.

CARY, Lise et al. Combining boron isotopes and carbamazepine to trace sewage in salinized groundwater: a case study in Cap Bon, Tunisia. **Applied Geochemistry**, v. 34, p. 126-139, 2013.

CORDEIRO, Micheli Rocha *et al.* Avaliação da contaminação de efluentes domésticos em poços sobre área de restinga. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 5, n. 1, p. 89-102, 2011. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/2177-4560.20110005..> Acesso em: 22 set. 2024.

DATASUS. Ministério da Saúde. **Informações de Saúde, Epidemiológicas e Morbidade: banco de dados**. 2021. In: Painel Saneamento Brasil. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade?id=150360>. Acesso em 29 de nov de 2023.

DO VALE PEIXOTO, Carlos Virgílio Aparecido; JOHANN, Liana. Avaliação da qualidade da água de poços tabulares do lençol freático na cidade de Paracuru-Ceará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 1, 2021.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.V.; MARCELLINI, S.S.; VILLAR, P.C.; MARCELLINI, L. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. 35 p. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf. Acesso em 29 nov. 2023.

IAS – INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e Saneamento: Itaituba (PA). 2024**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/itaituba>. Acesso em 7 jul. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *In: Cidades: Panorama*. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama>. Acesso em 27 dez. 2023.

INFOSANBAS. **Itaituba-PA**. 2024. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/itaituba-pa/>. Acesso em 15 jun. 2024.

ITAITUBA. **Lei Municipal Nº 4.031, de 19 de dezembro de 2023**. Institui a política municipal de saneamento básico, dispõe sobre o plano municipal de saneamento básico, e dá outras providências. Itaituba, PA: Gabinete da Prefeitura, 2023. Disponível em: https://www.itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/leis-ordarias-2023/lei_4031-2023-plano-municipal-de-saneamento-basico.pdf. Acesso em 01 ago. 2024.

LaPES UFSCar. 2017. Termos e Condições de Uso Da Ferramenta StArt. Acesso em: 06/03/2024. Disponível em: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>.

LIMA, F.T.S; PEREIRA, C.S.S; PEREIRA, A.R.; CÂNDIDA, F.F.S. Projeto de implantação de sistema de fossa séptica biodigestora e clorador no Sítio Rio Manso/RJ. **Revista Fluminense de Extensão Universitária**, v. 2, n. 2, p. 11-26, 2012. Disponível em: <https://editora.univassouras.edu.br/index.php/RFEU/article/view/554>. Acesso em 29 ago. 2024.

MADRILES, F.P.; JACINTO, G.D.; DA SILVA, J.P.; DOS REIS, J.A. Microorganismos patogênicos presentes em águas contaminadas. **Sete Editora**, [S. l.], pág. 83–95, 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/5173>. Acesso em: 23 mar. 2024.

MESTER, Tamás et al. Assessment of Groundwater Decontamination Processes around a Dismantled Septic Tank Using GIS and Statistical Analysis. **Water**, v. 15, n. 5, p. 884, 2023.

MORELO, Monik. A Educação Ambiental: Uma Abordagem Sobre a Água. **Revista Primeira**

Evolução, São Paulo, Brasil, v. 1, n. 52, p. 151–157, 2024. Disponível em: <https://primeiraevolucao.com.br/index.php/R1E/article/view/607>. Acesso em: 27 ago. 2024.

OCAÑA-FERNANDEZ, Y., FUSTER-GUILLÉN, D. **The bibliographical review as a research methodology**. Revista Tempos e Espaços em Educação, v. 14, n. 33, p. e15614, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20952/revtee.v14i33.15614>

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Water, sanitation and hygiene links to health: facts and figures**. Suíça, 2004.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for Drinking-water Quality, Incorporating 1st and 2nd Addenda**, Volume 1, Recommendations, 3rd ed.; Suíça, 2008.

PÊPE FRANÇA, F. V.; DE SOUZA SILVA, T. E.; LIMA JUIZ, P. J. Índices de saneamento básico para avaliação de saúde pública: um estudo comparativo entre Feira de Santana e outros municípios baianos. **Scientia: Revista Científica Multidisciplinar**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 112–137, 2024. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/17845>. Acesso em: 23 set. 2024.

PERES, Terezinha Bonanho. **NOÇÕES BÁSICAS DE CROMATOGRÁFIA**. Biológico, São Paulo, v.64, n.2, p.227-229, jul./dez., 2002.

PONTES, M. L. et al. Balanço Hídrico para a cidade de Itaituba. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 18., 2013, Belém. **Anais [...]** Belém, PA: Universidade Federal do Pará, 2013. Disponível em: www.sbagro.org/files/biblioteca/3284.pdf. Acesso em: 23 de maio 2024.

ROJAS, Camila; TORRES, David. **Revisiones sistemáticas**. Rev Chil Anest, Chile, v. 43, p. 339-342, 2014.

RIBEIRO, Maria Lúcia *et al.* **Groundwater contamination by pesticides: Preliminary evaluation**. São Paulo, 2007.

RODRIGUES, J. W. S.; SILVA JUNIOR, M. A. B. da. Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, [S. l.], v. 12, n. 35, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17271/23178604123520245095>. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/5095. Acesso em: 8 jul. 2024.

SANTOS, Vanessa Sardilha dos. Doenças relacionadas com a água. **Brasil Escola**, 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/busca?q=Doen%C3%A7as+relacionadas+com+a+%C3%A1gua.+Brasil-escola.&x=0&y=0>. Acesso em: 27 mar. 2024.

SILVA JÚNIOR, M. A. B.; SANTOS, A. O; FARIAS, W. A.; MARTINS, A. M. S.; SILVA, A. K. C. Eventos extremos de precipitação em cidades amazônicas: uma análise dos impactos em Itaituba, sudoeste do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 25., 2023, Aracaju. **Anais [...]** Aracaju- SE: ABRHidro, 2023. p. 1-10, Disponível em:

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15231>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SILVA, A. L.; VIEIRA, F. F. Exploração multifatorial da dinâmica de poluentes em aquíferos: uma análise dos principais efeitos e interações via modelagem e simulação computacional. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 7530–7551, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-454. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/4742>. Acesso em: 23 set. 2024.

ŚLÓARCZYK, Kinga; JAKÓBCZYK-KARPIERZ, Sabina; WITKOWSKI, Andrzej Jarosław. Identification of Water Contamination Sources Using Hydrochemical and Isotopic Studies—The Kozłowa Góra Reservoir Catchment Area (Southern Poland). **Water**, v. 14, n. 6, p. 846, 2022.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Série histórica**. 2021. In: Painel Saneamento Brasil. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade?id=150360>. Acesso em 29 nov. 2023.

SOUID, Faiza et al. Groundwater chemical and fecal contamination assessment of the Jerba unconfined aquifer, southeast of Tunisia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 10, p. 1-16, 2017.

STAUDT, Brandaly. **Determinação do índice de vulnerabilidade da água subterrânea em Novo Hamburgo (RS)**. In: *Seven International Multidisciplinary Congress*, 6., Itupeva. **Anais [...]** Itupeva-SP: IEMS – Uniasselvi, 2024. 19 p. DOI: <https://doi.org/10.56238/sevenVImulti2024-073>.

UNPD - Unidades Nations Development Programme. **Human Development Reports: Human Development Insights**. 2020. Disponível em: <https://hdr.undp.org/data-center/country-insights#/ranks>. Acesso em 21 set 2024.

VANDERLINDE DAMASIO, G.; D'OSWALDO, C.; BUTTURI DE OLIVEIRA, J.; ROGIERI PELISSARI, M.; SETTE BERTO, V.; PINHATTI, A. L.; HIRATA, R. **Como construir e locar uma fossa séptica ambientalmente segura? Manual de auxílio ao usuário**. Águas Subterrâneas, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29447>. Acesso em: 24 set. 2024.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias no Itaituba no ano todo**. 2023. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/149890/Clima-caracter%C3%ADstico-no-Itaituba-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em 17 dez. 2023.

WINTER. Thomas C. *et al.* U.S. Geological Survey. **Ground Water and Surface Water: a single resource**. Serviço Geológico dos EUA, Denver, Colorado, p. 1-79, 1998. ISBN 0–607–89339–7. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/circ11>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

YADAWA, M. S. et al. **Analysis of nitrate and physicochemical properties of ground and underground water in northern Bijapur district, Karnataka India**. 2011.

ZEKTSER, IGOR S; EVERETT, LORNE G. **Groundwater resources of the world and their use.** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO, ISBN: 92-9220-007-0, Paris, 2004. 346 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>. Acesso em 23 set. 2024.