



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS



DAIANNE SANTOS DOS ANJOS

**ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE POÇOS
ARTESIANOS QUE ABASTECEM MORADORES DA ZONA RURAL DO
MUNICÍPIO DE ITABAIANA, SERGIPE**

Itabaiana – SE

2023

DAIANNE SANTOS DOS ANJOS

**ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE POÇOS
ARTESIANOS QUE ABASTECEM MORADORES DA ZONA RURAL DO
MUNICÍPIO DE ITABAIANA, SERGIPE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade Federal de Sergipe, como requisito necessário para a obtenção do título de Mestra em Ciências Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado.

Coorientadora: Profa. Dra. Célia Gomes de Siqueira.

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Evangelista Fraga.

Itabaiana – SE

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA PROFESSOR ALBERTO
CARVALHO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

A599a Anjos, Dianne Santos dos
Análise microbiológica e físico-química da água de poços
artesianos que abastecem moradores da zona rural do município
de Itabaiana, Sergipe. / Dianne Santos dos Anjos; orientação:
Marcos Vinicius Meiado. – Itabaiana, 2023.
74f.; il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade
Federal de Sergipe, 2023.

1. Ciências naturais. 2. Aquíferos. 3. Água potável -
Contaminação. 4. Água potável. I. Meiado, Marcos Vinicius.
(orient.). II. Título.

CDU 579.67/.68 (813.7)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS QUE ABASTECEM MORADORES DA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE ITABAIANA, SERGIPE

DAIANNE SANTOS DOS ANJOS

APROVADA pela banca examinadora composta por:

 Documento assinado digitalmente
MARCOS VINICIUS MEIADO
Data: 31/03/2023 21:31:51-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado
Universidade Federal de Sergipe

 Documento assinado digitalmente
VALERIA PRISCILA DE BARROS
Data: 03/04/2023 10:56:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Valéria Priscila de Barros
Universidade Federal de Sergipe

 Documento assinado digitalmente
MARIA DE LARA PALMEIRA DE MACEDO ARGUELO
Data: 01/04/2023 12:06:40-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Maria de Lara Palmeira de Macedo Arguelho
Universidade Federal de Sergipe

Itabaiana – SE

2023

AGRADECIMENTOS

O momento para agradecimentos é muito reflexivo, uma vez que, paramos e pensamos, “consegui”! Entretanto, nada disso seria possível se a mão de DEUS não tivesse me sustentando, pois a minha fé foi o que me manteve até o final. Além disso, pude contar com a contribuição de muitas pessoas que estiveram ao meu lado por todo esse caminho que trilhei.

Agradeço, toda a minha família, em especial, minha Mãe Gedalva e ao meu Pai Josué (*in memoriam*), pois juntos, me deram o suporte necessários para escolher o melhor caminho, sendo, logo em seguida apenas minha mãe os alicerces que me sustentaram até hoje. O principal conselho dado por ambos foi sempre estudar, a fim de buscar uma vida melhor. Agradeço às minhas irmãs, Naiane, Everalda, Sandra e Esmeralda, por me darem apoio e palavras de conforto em momentos difíceis.

Agradeço ao meu noivo Rudvan, que desde o início da seleção do mestrado, me deu suporte e incentivos necessários para a minha aprovação, além claro, esteve presente durante todo o percurso, apresentando paciência, amor e compreensão para comigo, pois ele sabe, “nunca foi fácil”. Agradeço a minha sogra Dona Lêda, por cuidar tão bem de mim, além de seus conselhos para a vida pessoal e acadêmica.

Agradeço de maneira especial ao meu orientador e pai científico, Marcos Vinicius Meiado, por contribuir para a realização desse sonho em minha vida. Visto que, sem nunca me conhecer e através de uma conversa no Instagram, me deu a oportunidade de me orientar em um projeto tão desafiador, embora não sendo sua linha de pesquisa. Mais do que tudo, me deu suporte durante todo o trabalho, bem como, me apresentou dois coorientadores que me auxiliaram na realização desta pesquisa.

Agradeço a Professora Célia Siqueira. Todo o conhecimento do qual me aperfeiçoei sobre a microbiologia, eu devo à senhora. Além disso, agradeço todas as nossas conversas e desabafos que foram além do momento de orientação, esses diálogos foram muito importantes para a minha construção profissional e pessoal.

Agradeço ao Professor Luciano Fraga. Uma frase que nunca esquecerei é, “tenha calma Daianne, no final tudo vai dar certo”. A partir disso, eu comecei a trabalhar essa frase na minha mente, e assim comecei a produzir melhor. Não é que

deu certo! Ainda digo, que por ser sempre muito solícito e brincalhão em nossas reuniões, foram fatores que me ajudaram a não surtar.

A vocês meus orientadores, sou muito grata, pois vocês são pessoas excepcionais e tenho a certeza que posso dizer, o quanto aprendi com cada um de vocês. Por isso, eu digo, “MUITO OBRIGADA”!

Agradeço ao Laboratório de Fisiologia das Sementes, por me fazer parte integrante desse grupo. Ao Laboratório de Microbiologia em especial a Clarisse Lima, por ter me ajudado durante as análises microbiológicas do trabalho. Você é uma pessoa muito especial e responsável. Obrigada por tudo. Agradeço ao Laboratório de Química II, em especial a Adrielle e Itamara, por terem me ajudado durante as análises físico-químicas. Tivemos uma conexão maravilhosa, por isso, conseguimos vencer essa etapa, mesmo com os quase desmaios. Obrigada pela paciência e pelo ombro amigo.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais (PPGCN) por todo conhecimento adquirido, em especial a professora Larissa, por toda a contribuição para esta pesquisa. Agradeço ao secretário Jeferson, por ser sempre muito atencioso e por me ajudar quando solicitado.

Agradeço a equipe de motoristas da Universidade Federal de Sergipe (UFS), em especial a Adelson e a Jeferson, por terem paciência para encontrarmos todos os povoados que foram locais de coletas. Vocês nunca desistiram até que encontrássemos.

Agradeço de maneira especial a Eliziane, Gabrielle, Riclecia e Santiago, que foi meu grupinho o qual pude formar durante o mestrado. Vocês deixaram a caminhada mais leve, tornando-se pessoas especiais em minha vida. Guardarei com carinho todos os nossos momentos compartilhados.

Agradeço a Josiely, pois durante o período que tive que me mudar para Itabaiana, obtive a oportunidade de conhecer e dividir o quarto com uma pessoa tão maravilhosa como você. Obrigada por todas as vezes que me ouviu e cuidou tão bem de mim, você foi meu anjinho, além de termos construído uma amizade sólida e saudável.

Agradeço de maneira especial, às minhas amigas pessoais, Leane, Dayane, Jaquelina, Wivena e Edjane, que sempre acreditaram em meu potencial, além de

vibrarem a cada conquista realizada por mim. Nossa amizade é linda e de muitos anos, nunca esquecerei de todas as palavras de carinho durante esse percurso.

Agradeço à Universidade Federal de Sergipe, campus universitário Prof. Alberto Carvalho em Itabaiana, pela oportunidade oferecida.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

E por fim, costumo dizer que ninguém é feliz sozinho, sendo assim, muitas coisas lindas ainda estão por vir.

Você já se perguntou o que marca o nosso tempo aqui?

Se uma vida pode realmente ter um impacto no mundo?

Ou se as escolhas que fazemos importam?

Eu acredito que sim e acredito que um homem pode mudar muitas vidas para o
melhor, ou para o pior.

(One Tree Hill)

Dedico esta pesquisa a minha mãe Gedalva.
Por sonhar junto comigo e não soltar a minha mão todas as vezes que precisei.
Te Amo.

RESUMO

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS QUE ABASTECEM MORADORES DA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE ITABAIANA, SERGIPE

A água é um elemento essencial para a sobrevivência de todas as espécies, inclusive a humana, por isso é imprescindível a conservação desse elemento natural. Diversas atividades industriais e agropecuárias fazem uso da água com um consumo desordenado. Em decorrência da falta de água potável, as águas subterrâneas surgem como uma fonte alternativa para o consumo humano, principalmente por meio da perfuração dos poços artesianos tubulares. Por essa razão, o objetivo desta pesquisa foi analisar, através dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, a qualidade da água dos poços artesianos que abastecem a zona rural do município de Itabaiana, estado de Sergipe. O presente estudo trata-se de uma pesquisa descritiva, exploratória e quantitativa. Nesse sentido, selecionou-se dezenove poços públicos para compor a amostragem desta pesquisa. Realizou-se a coleta para análise microbiológica de amostras de água em dezenove poços, já a coleta para os parâmetros físico-químicos foi realizada em nove poços, a fim de averiguar a sua potabilidade para o consumo humano. Após a realização das análises, os resultados foram relacionados com os parâmetros da legislação que regulamenta a potabilidade da água Portarias do Ministério da saúde nº 2.914/11, nº 888/21. Os resultados microbiológicos demonstraram a presença de *Escherichia coli* em nove poços, além da detecção de bactérias heterotróficas em três poços. Quanto aos resultados físico-químicos, obteve-se valores máximo permitido pela legislação referentes aos parâmetros de condutividade elétrica em oitos poços, Dureza em três poços, Cloretos em cinco poços, Alcalinidade em seis poços e Cloro residual livre todos os poços analisados não se encontram com os valores mínimos permitido pela legislação 888/21, a qual indica que o valor mínimo de cloro residual seja de 0,5 mg L⁻¹. Em relação aos parâmetros de Temperatura e Potencial Hidrogeniônico(pH), todos os pontos analisados estão em conformidade com a legislação. É importante ressaltar que, durante as coletas foi observado que às margens desses poços contaminados existiam a inserção de lixos, criação de bovinos, além de esgotos a céu aberto. Todos esses fatores mencionados contribuem de maneira significativa para a proliferação desses microrganismos patogênicos na água, além de colocar em risco a saúde da população que faz a ingestão da água contaminada.

Palavras-chave: Aquíferos, Contaminação, Potabilidade da água.

ABSTRACT

MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS OF WATER FROM ARTESIAN WELLS THAT SUPPLY RESIDENTS IN THE RURAL AREA OF THE MUNICIPALITY OF ITABAIANA, SERGIPE

Water is an essential element for the survival of all species, including humans, so the conservation of this natural element is essential. Several industrial and agricultural activities make use of water with disorderly consumption. Due to the lack of potable water, groundwater appears as an alternative source for human consumption, mainly through the drilling of tubular artesian wells. For this reason, the objective of this research was to analyze, through microbiological and physical-chemical parameters, the quality of water from artesian wells that supply the rural area of the municipality of Itabaiana, state of Sergipe. The present study is a descriptive, exploratory and quantitative research. In this sense, nineteen public wells were selected to compose the sample for this research. The collection for microbiological analysis of water samples was carried out in nineteen wells, while the collection for the physical-chemical parameters was carried out in nine wells, in order to verify its potability for human consumption. After carrying out the analyses, the results were related to the parameters of the legislation that regulates the potability of water Ordinances of the Ministry of Health nº 2.914/11, nº 888/21. The microbiological results showed the presence of *Escherichia coli* in nine wells, in addition to the detection of heterotrophic bacteria in three wells. As for the physical-chemical results, the maximum values allowed by legislation were obtained for the parameters of electrical conductivity in eight wells, Hardness in three wells, Chlorides in five wells, Alkalinity in six wells and Free residual chlorine. with the minimum values allowed by legislation 888/21, which indicates that the minimum value of residual chlorine is 0.5 mg L⁻¹. Regarding the parameters of Temperature and Hydrogenionic Potential (pH), all analyzed points are in compliance with the legislation. It is important to emphasize that, during the collections, it was observed that on the margins of these contaminated wells there was the insertion of garbage, cattle raising, in addition to open sewers. All these factors mentioned contribute significantly to the proliferation of these pathogenic microorganisms in water, in addition to putting the health of the population that ingests contaminated water at risk.

Keywords: Aquifers, Contamination, Potability of water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	24
Figura 2 - Principais contaminantes que afetam a qualidade das águas subterrâneas	26
Figura 3 - Mapa de Localização do Município de Itabaiana, da região do Agreste Central Sergipano.....	34
Figura 5 - Condições de higienização dos poços artesianos onde foram realizadas as coletas das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe	46
Figura 6 - Poço do povoado Caraíbas onde foram realizadas as coletas das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe.....	47
Figura 7 - Poluentes as margens dos poços artesianos onde foram realizadas as coletas das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe.....	49
Figura 8 - Valores de temperatura de cada ponto de coleta dos poços artesianos ..	51
Figura 9 - Valor de pH encontrado nas amostras de água coletadas.....	52
Figura 10 - Valores de CE encontrados na pesquisa	53
Figura 11 - Valores da dureza da água encontrados na pesquisa	54
Figura 12 - Valores de Cloretos encontrados nos pontos analisados.....	56
Figura 13 - Valores de Alcalinidade total na água dos poços analisados	57
Figura 14 - Poço do povoado Roncador e o sistema de tratamento para água potável.....	62

ILUSTRAÇÕES SUPLEMENTARES

Figura Suplementar 1 - Poços artesianos impossibilitados da realização da coleta das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe	73
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores máximos permitidos pela legislação referente aos parâmetros microbiológicos e físico-químicos analisados neste trabalho	28
Tabela 2 - Coordenadas dos pontos de coleta das amostras de água dos poços artesanais que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana, Sergipe	35
Tabela 3 - Recipiente, forma de preservação e tempo de armazenamento das amostras coletadas para as análises dos parâmetros físico-químicos da água dos poços artesanais que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana, Sergipe	37
Tabela 4 - Identificação dos povoados quanto a presença/ausência de coliformes e bactérias heterotróficas nos poços artesanais que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana, Sergipe	44
Tabela 5 - Classificação da dureza na água	55
Tabela 6 - Teor de cloro residual livre das amostras de água coletadas	58

LISTA DE TABELAS SUPLEMENTAR

Tabela Suplementar 1 - Médias e intervalo de Confiança a 95% dos poços referentes às análises físico-químicas	74
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Técnicas/Métodos/ Materias, reagente e indicador utilizado para a análises dos parâmetros físico-químicos de amostras de água dos poços artesanais	39
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
As	Arsênio
ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
Cd	Cádmio
Ca	Cálcio
°C	Celsius
Pb	Chumbo
NH ₂ Cl	Cloramina
Cl ⁻	Cloreto
CRL	Cloro Residual Livre
CE	Condutividade Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
K ₂ CrO ₄	Cromato de Potássio
Cr	Cromo
ClO ₂	Dióxido de Cloro
DT	Dureza Total
ETA	Estação de Tratamento de Água
NaOCl	Hipoclorito de Sódio
Mg	Magnésio
Hg	Mercúrio
DPD	N, N-Dietil-p-Fenilenodiamina
AgNO ₃	Nitrato de Prata
OMS	Organização Mundial da Saúde
O ₃	Ozônio
PVC	Policloreto de Vinila
pH	Potencial Hidrogeniônico
TSA	Tryptone Soy Agar
VMP	Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo Geral	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1 Caracterização das Águas Subterrâneas.....	23
3.1.1 Poços Tubulares	24
3.1.2 Contaminação das Águas Subterrâneas.....	25
3.2 Águas Subterrâneas e Região hidrográfica	27
3.3 Padrões de Potabilidade de Água.....	27
3.4 Análises Microbiológicas	29
3.4.1 Coliformes Termotolerantes.....	29
3.4.2 Bactérias Heterotróficas.....	29
3.5 Parâmetros físico-químicos.....	30
3.5.1. Alcalinidade.....	30
3.5.2 Cloro Residual Livre.....	31
3.5.3 Cloreto (Cl ⁻)	31
3.5.4 Dureza Total (DT)	31
3.5.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)	32
3.5.6 Temperatura	32
3.5.7 Condutividade Elétrica (CE).....	33
4 METODOLOGIA	34
4.1 Área de estudo.....	34
4.2 Pontos de Coletas.....	35
4.2.1 Procedimentos para Coleta.....	36
4.2.2 Armazenamento das Amostras.....	37
4.3 Procedimento Microbiológico	38
4.3.1 Bactérias Heterotróficas.....	38
4.3.2 Bactérias termotolerantes e Escherichia coli	38
4.4 Procedimentos Físico-Químicas	38
4.4.1 Alcalinidade total.....	40
4.4.2 Cloro Residual Livre.....	41

4.4.3 Condutividade Elétrica	41
4.4.4 Cloretos.....	41
4.4.5 Dureza total.....	42
4.4.6 Temperatura	42
4.4.7 pH	43
4.5 Análise dos Dados	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Análise microbiológica da água.....	44
5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos da água.....	50
5.2.1 Temperatura	50
5.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH)	52
5.2.3 Condutividade elétrica	53
5.2.4 Dureza total.....	54
5.2.5 Cloreto	55
5.2.6 Alcalinidade total.....	57
5.2.7 Cloro Residual Livre.....	58
5.3 Propostas de Melhoria para a Qualidade da Água	59
5.3.1 Tratamento da água.....	59
5.3.2 Utilização de clorador nos poços para a desinfecção de água	60
5.3.3 Qual seria o tratamento adequado para a distribuição da água de poços para o consumo humano?	61
CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICES	72
Figura Suplementar 1 - Poços artesianos impossibilitados da realização da coleta das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe.....	73
Tabela Suplementar 1 - Médias e intervalo de Confiança a 95% dos poços referentes às análises físico-químicas	74

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção dos ecossistemas e de todas as formas de vida existentes no planeta. Por essa razão, é necessária a conservação dos ambientes aquáticos (SIQUEIRA; LIMA; SANTOS, 2022). A ingestão da água potável é um dos fatores básicos na qualidade de vida, pois previne a disseminação de diversas patologias, a exemplo de doenças causadas por bactérias, tendo destaque a *Escherichia Coli* (JI et al., 2020).

A maior extensão territorial superficial do planeta é coberta por água. Do total, cerca de 97% é composta por água salgada e aproximadamente 3% corresponde à água doce, sendo que 2,4% desta encontram-se distribuídas em geleiras ou regiões de difícil acesso (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2022). Segundo Baptista e Nascimento (2022), a quantidade de água doce disponível para rios, aquíferos e lagos é, em média, 0,5% do recurso total, tornando-se cada vez mais escassa com o passar dos anos devido aos efeitos das ações antrópicas.

Atualmente, cerca de 3,6 bilhões de pessoas da população mundial residem em regiões que sofrem com a escassez hídrica e, estima-se que, até 2050, a população global sofrerá com a escassez pelo menos um mês por ano (BORETTI; ROSA, 2019). O Brasil é um dos países que apresenta o maior volume de água doce disponível para consumo. No entanto, o crescimento populacional, as estiagens prolongadas, a falta de conscientização ambiental e as infraestruturas de tratamento inadequado vêm contribuindo de maneira significativa para a diminuição da qualidade desse elemento natural (VAL et al., 2019).

Cerca de 16% da população brasileira ainda não tem acesso ao sistema de abastecimento de água. Assim, mais de 35 milhões de pessoas no país precisam receber água de uma fonte alternativa (FERREIRA et al., 2021). Por meio dessa questão, as águas subterrâneas são consideradas como fonte alternativa para o uso de recurso hídrico, principalmente através da perfuração dos poços artesianos. Essa fonte de recurso é considerada como manancial de água limpa, pois constitui-se em maior volume de água doce presente na terra, sendo um importante recurso para suprir as necessidades humanas e econômicas (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010; DUARTE et al., 2016).

A água subterrânea normalmente possui excelente qualidade físico-química e microbiológica, considerada apta para o consumo humano. Mesmo apresentando

boa qualidade, existe o risco de contaminação desses mananciais. Nas áreas rurais, as fontes de poluição desses aquíferos ocorrem normalmente pelos sistemas de *in situ*, mais conhecido como fossa negra. Além disso, os dejetos de lixos às margens dos poços e a aplicação de fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura contribuem significativamente para o aumento da contaminação desses mananciais, pondo em risco a saúde da população (VITÓ et al., 2016).

No município de Itabaiana, estado de Sergipe, o abastecimento de água para grande parte dos moradores da zona rural é feito através do uso dos poços artesanais tubulares (SERGIPE, 2015). Esses poços estão situados em propriedades públicas e particulares do município, dos quais suas águas são utilizadas para o consumo humano, bem como para irrigação e outras finalidades (BOMFIM; COSTA; BENVENUT, 2002).

Dessa maneira, a pergunta norteadora deste estudo foi: A água dos poços artesanais que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana é potável?

De acordo com a Portaria nº 888/21 e a Organização Mundial da Saúde (OMS), a água potável deve estar livre de microrganismos patogênicos, além de ser insípida, incolor e inodora (BRASIL, 2021). Por isso, torna-se essencial o monitoramento e controle da proliferação de microrganismos patogênicos e de parâmetros físico-químicos na água para assegurar a qualidade de água consumida para os moradores da zona rural do município de Itabaiana/SE.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar, através dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, a qualidade da água dos poços artesianos que abastecem a zona rural do município de Itabaiana, estado de Sergipe.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar a análise microbiológica da água;
- ✓ Investigar os parâmetros físico-químicos da água;
- ✓ Avaliar as possíveis fontes de contaminação da água;
- ✓ Apresentar propostas de melhoria da qualidade da água dos poços artesianos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Caracterização das Águas Subterrâneas

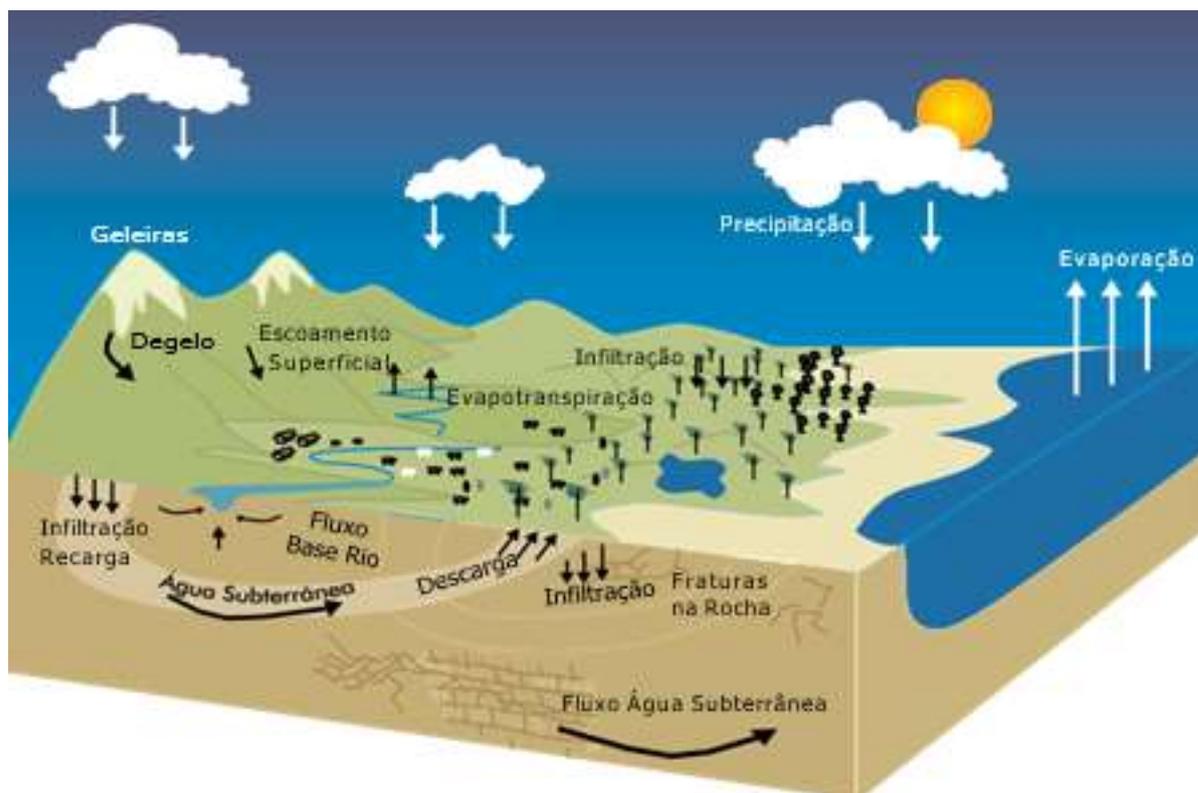
Os recursos hídricos subterrâneos são utilizados como fonte de apoio para diversos setores, sendo essencial para o desenvolvimento social e econômico uma vez que abastece cerca de 2,5 bilhões de pessoas em todo o mundo. Dentre os principais setores utilizados, encontram-se o abastecimento doméstico, industrial e agropecuária. Esse uso ocorre em várias regiões do mundo, principalmente entre aquelas em que as águas superficiais estão escassas (STRADIOTO; TERAMOTO; CHANG, 2021).

As águas subterrâneas são conhecidas como aquíferos. Elas estão localizadas em meio ao vazio das rochas sedimentares e da formação de rochas porosas e permeáveis, que juntas formam os corpos de águas subterrâneas (NORONHA, 2016). Dependendo do tamanho do aquífero, essas águas podem ser encontradas em grandes ou pequenas quantidades (WANG; ZHENG; MA, 2018).

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) enfatiza que aproximadamente 97% da água doce destinada para o consumo humano provém das águas subterrâneas (ALVES; CORDEIRO; MILO, 2019). No Brasil, muitas cidades recebem o abastecimento originado das águas subterrâneas, o qual é realizado de forma parcial ou total. No estado de Sergipe, a cidade de Itabaiana, por exemplo, usufrui desse bem natural, principalmente entre os moradores residentes na zona rural do município.

A origem das águas subterrâneas possui relação com o ciclo hidrológico (Figura 1), sendo assim, as águas subterrâneas são responsáveis por distribuir a água de forma espacial ou continental. Sendo, o sistema pelo o qual a água é circulada em grande escala por vários compartimentos da terra (CONDON et al., 2021).

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: (BRASIL, 2007).

O ciclo hidrológico possui relação com movimento e a troca de água em seus diferentes estados físicos que ocorre na hidrosfera, distribuído nos oceanos, nas calotas de gelo, nas águas superficiais, subterrâneas e na atmosfera. Esse sistema de circulação da água é utilizado como manancial, seja ele subterrâneo ou superficial, que possui como finalidade atender as demandas da água em setores domésticos, econômicos e industriais (AMANAMBU et al., 2020).

3.1.1 Poços Tubulares

Os poços tubulares apresentam uma arquitetura circular revestidos de tubos com diferentes tipos de materiais como, por exemplo, aço, ferro, policloreto de vinila (PVC), entre outros. Além disso, a profundidade do poço influenciará o formato e seu diâmetro. Os poços tubulares são classificados em duas categorias, sendo elas: Poço Tubular Raso e Poço Tubular Profundo (VASCONCELOS, 2017).

O poço tubular raso, também chamado de cacimba, é um tipo de poço construído por meio da escavação manual convencional. Esse tipo de poço possui 2 metros de diâmetro, sendo revestido por tijolos ou pedras. A retirada da água desse aquífero é feita com o auxílio de baldes ou bombas de baixa potência (SANTOS et al., 2020).

O poço tubular profundo, também conhecido por poço artesiano ou semiartesiano, é construído utilizando-se de sonda perfuratriz mediante perfuração vertical. A profundidade do poço tubular profundo varia entre 20 e 50 metros. Além disso, para execução desse projeto, é necessária autorização e licenciamento ambiental emitido pelos órgãos competentes. Em Itabaiana/SE, o órgão responsável é a prefeitura municipal, a qual contrata empresas que prestem esses serviços (SOARES et al., 2022).

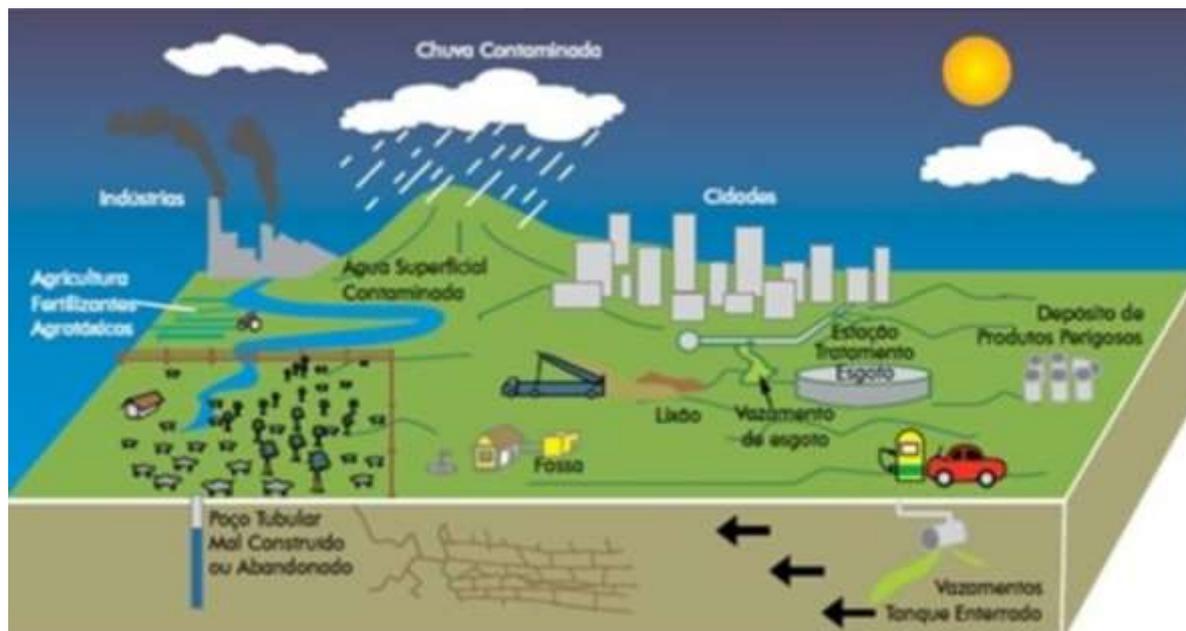
No Brasil, para se construir poços artesanais se faz necessário que este seja projetado seguindo normas preestabelecidas, tais como: ABNT NBR 12.212/2017 (Projeto de Poço) e da NBR 12.244/2006 (Construção de Poço Tubular). Projetos como esses visam a captação da água subterrânea. Vale ressaltar que a instalação realizada de maneira inadequada compromete a qualidade da água, de forma que o poço resultante se torne ponto de entrada para diversos focos de contaminação (AHMMED; KIBRIA, 2019).

A perfuração dos poços tubulares é realizada através da utilização de máquinas perfuratrizes à percussão. A construção desses poços surge como alternativa para a disponibilização de água para a população em geral, sobretudo em períodos de seca, em decorrência da escassez de água potável (SCHREINER-MCGRAW; AJAMI, 2021).

3.1.2 Contaminação das Águas Subterrâneas

São diversos os fatores que afetam a qualidade da água (Figura 2). Entre os principais, encontram-se os processos hidrogeoquímicos e as ações antrópicas (LI et al., 2021). Esses fatores resultam em diversas fontes de poluentes que podem penetrar no solo e, conseqüentemente, acarretar na contaminação dos aquíferos (RIOS; RABELO, 2021).

Figura 2 - Principais contaminantes que afetam a qualidade das águas subterrâneas



Fonte: (BRASIL, 2007).

A contaminação das águas subterrâneas também pode ocorrer por meio de formações geológicas, tais como: formação de minério e intemperismo das rochas. Estudos comprovam que a ingestão de água contaminada por metais, promove diversos problemas relacionados à saúde pública como, por exemplo, distúrbios neurológicos, hemorragias gastrointestinais, hipertensão, câncer, entre outras (BODRUD-DOZA et al., 2019).

Os metais traços são contaminantes inorgânicos que possuem propriedades de capacitação de bioacumulação e biomagnificação, além de conter alta toxicidade nos ambientes naturais, sendo o Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) considerados os mais prejudiciais para a saúde da população como um todo (JAFARZADEH et al., 2022).

O lançamento de contaminantes orgânicos provenientes da infiltração de fossas negras, do chorume de aterros sanitários, existências de cemitérios nas proximidades dos poços e do uso excessivo de fertilizantes na agricultura podem contribuir para a ocorrência de contaminação das águas subterrâneas (FERRER et al., 2020). Porém, a principal fonte da poluição microbiológica das águas subterrâneas advém de fossas negras. Quando presentes na água, precisam ser tratadas a fim de evitar surtos de doenças causadas por microrganismos

patogênicos. Dentre as principais, destaca-se a disenteria, a febre tifóide, as verminoses e as protozooses (AL-HASHIMI et al., 2021).

3.2 Águas Subterrâneas e Região hidrográfica

O município de Itabaiana, localizado no estado de Sergipe, apresenta em sua geologia o tipo de rocha Gnaisse. Esta, por sua vez, é uma rocha metamórfica resultante de outras rochas quando submetidas a altas temperaturas ou pressão. O domo Itabaiana, situado na porção central do Estado de Sergipe, está circundado por litotipos de faixas de dobramentos sergipanos, mais especificamente o domínio litoestratigráfico Vaza Barris. Além disso, a formação domo Itabaiana, situa-se na base do grupo da Serra da Miaba que, predominantemente, possui formação rochosa granular grossas. A rocha Gnaisse encontra-se normalmente exposta em lajedos, em cortes de estradas, bem como em afloramentos de leito de rio (SANTIAGO et al., 2018).

Itabaiana apresenta quatro domínios hidrogeológicos que são classificados em: (1) Cristalino, (2) Metassedimentos, (3) Formações Superficiais Cenozóicas e (4) Metacarbonatos. Vale ressaltar que, dentre os domínios hidrogeológicos, o Cristalino é constituído por rocha Gnaisse, a qual recobre cerca de 80% do território municipal. A partir disso, a ocorrência das águas subterrâneas origina-se através do aquífero fissural e/ou Cristalino, no qual a água deposita-se nas fraturas e fendas das rochas, respectivamente (BOMFIM; COSTA; BENVENUT, 2002).

3.3 Padrões de Potabilidade de Água

A água potável é aquela utilizada para o abastecimento das cidades ou campos, a fim de ser empregada no consumo da população (FORTES; BARROCAS; KLIGERMAN, 2019). Para isso, são adotados Padrões de Potabilidade de água, que tratam de regras e normas estabelecidas, a fim de monitorar os indicadores de qualidade que definem os padrões de potabilidade da água (BRASIL, 2017).

No Brasil, os padrões de potabilidade de água são regulamentados pelo Ministério da Saúde através das Portaria nº 2.914/11, portaria de consolidação nº

5/17 e pela nº 888/ 21 e, ainda pela resolução nº 396/08 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Esses documentos estabelecem valores máximos permitidos (VMP), (Tabela 1) para os padrões de potabilidade, entre os principais estão os parâmetros físico-químicos e os parâmetros microbiológicos (BRASIL, 2008, 2011, 2017, 2021).

Tabela 1 - Valores máximos permitidos pela legislação referente aos parâmetros microbiológicos e físico-químicos analisados neste trabalho

Parâmetro	VMP
Coliformes Termotolerantes	Ausentes em 100 mL
Bactérias Heterotróficas	500 UFCs/mL
Alcalinidade	300 mg L ⁻¹
Cloro Residual Livre	0,5 mg L ⁻¹ a 2,0 mg L ⁻¹
Cloreto (Cl ⁻)	250 mg L ⁻¹
Dureza Total	300 mg L ⁻¹
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,0 a 9,5
Temperatura	20 e 30 °C
Condutividade Elétrica (CE)	10 a 100 µS cm ⁻¹

Fonte: Adaptada de Brasil (2008, 2011, 2021).

Os parâmetros físico-químicos analisam as condições da água quanto a temperatura, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico (pH), alcalinidade, cloretos, entre outros (BRASIL, 2011). Por outro lado, os parâmetros microbiológicos visam a detecção de microrganismos patogênicos, vindas através da contaminação fecal, conhecidas por grupo coliforme. Dentre as bactérias do grupo coliforme encontra-se: *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Escherichia coli*, sendo esta última a principal representante desse grupo. É importante salientar que, o monitoramento e a análise da qualidade da água são importantes para o controle a curto e a longo prazo, de forma a prevenir diversas doenças (BRASIL, 2013).

3.4 Análises Microbiológicas

3.4.1 Coliformes Termotolerantes

Os coliformes são bactérias aeróbicas alternativas, capazes de metabolizar tanto na presença, como na ausência de oxigênio que pertencem ao grupo dos coliformes totais, de característica gram-negativa, que habitam o trato intestinal de vertebrados. Essas bactérias produzem a enzima galactosidase, que degrada lactose quando incubadas entre 35 e 37°C. Além disso, os coliformes também são capazes de crescer entre 44 e 45°C e produzem gás (HAMMAD et al., 2022).

Essas bactérias são conhecidas na saúde pública como coliformes fecais, na qual a *Escherichia coli* é considerada como uma bactéria indicadora de contaminação fecal, quando referida à higiene, qualidade dos alimentos e da água (DOĞAN-HALKMAN et al., 2003; MARTIN et al., 2016).

A *E. coli* é um parâmetro essencial em trabalhos em amostragem de água, a presença desse microrganismo indica que água é imprópria para o consumo humano, além de apresentar graves complicações para a saúde pública, a exemplo de doenças relacionadas ao trato gastrointestinal, diarreia, disenteria, pneumonia e até mesmo meningite (NURLIYANA et al., 2018).

4.1.2 Bactérias Heterotróficas

As bactérias heterotróficas é um grande grupo genérico que engloba todas as bactérias capazes de utilizar matéria orgânica como fonte de carbono. Podem ser encontradas nos alimentos, solo, vegetação, ar, além de estar presente em todos os tipos de águas disponíveis (WHO, 2017). A contagem dessas bactérias possibilita mensurar a qualidade da água tratada, quanto a quantidade de organismos microbiológicos identificados. Dessa forma, quando a análise da água é realizada frequentemente, torna-se possível identificar e evidenciar alterações constantes no armazenamento, tais como, o crescimento de bactérias devido à presença de matéria orgânica na água, que irão causar a formação de biofilmes bacterianos. Além disso, é possível determinar com essas análises se os métodos de tratamento

são eficientes, de forma a manter o sistema de distribuição limpo (EXNER; VACATA; GEBEL, 2003).

Dentre as características das bactérias heterotróficas, algumas conseguem se multiplicar dentro das redes de abastecimento. Tal proliferação ocorre utilizando-se, principalmente, moléculas de carbono presente na água, e do carbono encontrado juntamente de outros materiais utilizados na construção dessas tubulações. Dessa maneira, as análises de bactérias heterotróficas, além de identificar possíveis alterações da qualidade da água a partir do número de bactérias encontradas, possibilita averiguar se o material utilizado para construção dessas tubulações é adequado (LECLERC, 2003).

Apesar das bactérias heterotróficas não constarem na Portaria 888/21, as análises deste trabalho foram baseadas no artigo número 28 da Portaria nº 2.914/11. Essa portaria descreve que uma contagem mensal de bactérias heterotróficas deve ser efetuada nos centros de abastecimento em 20% das amostras, a fim de prevenir possíveis irregularidades e qualquer contaminação para a população (BRASIL, 2011).

3.5 Parâmetros físico-químicos

As características físico-químicas da água, possuem como objetivo, a identificação de alterações na qualidade da água, seja de forma física ou química, pois, quando apresentadas acima do valor permitido pela a legislação, causam danos potenciais para a saúde humana. Visto que, esses parâmetros devem estabelecer a quantidade necessária de sais minerais e outras substâncias que possam estar presentes (SIMENSATO; BUENO, 2019).

3.5.1. Alcalinidade

A alcalinidade está relacionada à capacidade que a água possui na neutralização dos ácidos, associando-se à existência de carbonetos, bicarbonatos e hidróxidos. Geralmente, o bicarbonato de sódio e magnésio estão presentes em maior destaque. A análise do parâmetro de alcalinidade na água é fator primordial,

pois estabelece o teor de produtos químicos utilizados na água. Além disso, quando é apresentado um valor muito baixo de alcalinidade ou até mesmo inexistente, existe a necessidade da correção da alcalinidade artificial, realizada com a aplicação de substâncias alcalinas, tais como cal hidratada ou barrilha, conhecido como carbonato de sódio. Já quando o valor da alcalinidade é muito elevado, é realizado o processo de acidificação da água, reagindo com o sulfato de alumínio (BRASIL, 2013).

3.5.2 Cloro Residual Livre

O cloro é uma substância química utilizada no processo de desinfecção da água, o qual possui como objetivo, a destruição ou inativação de microrganismos patogênicos, a exemplo das bactérias e de outros organismos indesejáveis. Segundo a Portaria 888/21, a presença de cloro residual livre na água potável, um mínimo de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ e um máximo de $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ (conforme Tabela 01) para garantir a ausência dos microrganismos patogênicos (CAMPOS et al., 2019).

3.5.3 Cloreto (Cl^-)

O cloreto (Cl^-) é caracterizado como um ânion inorgânico que, normalmente, está presente em águas brutas. Além disso, são caracterizados principalmente na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio. É restrito o uso da água quando se apresenta concentrações elevadas de cloreto (acima de 250 mg L^{-1} , conforme Tabela 01), uma vez que possui propriedades laxativas (BRASIL, 2013).

3.5.4 Dureza Total (DT)

A dureza total da água é representada por uma medida de quantidade de metais alcalino-terrosos, envolvendo principalmente o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) que, geralmente, são provenientes das dissoluções das rochas e dos minerais (CABIGUEN JR; SORIANO; ADORNADO, 2018). A dureza da água pode ser

classificada em temporária e permanente. A dureza temporária, ou chamada de dureza carbonatada, é provocada por meio da presença de magnésio e bicarbonato de cálcio, sendo classificada como temporária porque os bicarbonatos passam pela ação do calor e dissolve-se em gás carbônico, em água e em carbonatos insolúveis. Por sua vez, a dureza permanente, conhecida também como não carbonatada, possui a presença de sulfatos, cloretos, nitratos de cálcio e magnésio, sendo resistente às ações de sabões por seus sais serem muito solúveis na água (BRASIL, 2013). Para uma água ser considerada potável deve-se apresentar uma DT abaixo de 300 mg L^{-1} em relação à carbonato de cálcio (Tabela 01).

3.5.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é conhecido como um logaritmo que expressa a concentração de íons hidrogênio em solução. O valor de pH pode variar entre 0 a 14 e observa-se que, ao obter-se um valor de pH abaixo de 7, a água é denominada como ácida. Porém, ao apresentar um valor acima de 7, a água é considerada como alcalina. Além disso, classifica-se como água neutra o pH com valor 7 (BRASIL, 2013).

3.5.6 Temperatura

A temperatura é medida através da intensidade do calor expresso em escala, as escalas normalmente utilizadas são em grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$), podendo ser expressa em diferentes dispositivos, a exemplo do termômetro. Além do mais, altas temperaturas na água influenciam algumas propriedades, tais como: viscosidade, oxigênio dissolvido e densidade, caso a temperatura da água não esteja dentro dos VMP permitidos pela legislação a água pode afetar o sabor e o odor (HASAN; SHAHRIAR; JIM, 2019).

3.5.7 Condutividade Elétrica (CE)

A Condutividade elétrica (CE) na água está relacionada com a capacidade de transportar corrente elétrica em relação a presença de substâncias dissolvidas que, por sua vez, dissociam em ânions e cátions. Dessa maneira, quanto maior forem as concentrações de íons maior será a potencialidade da solução em transmitir corrente elétrica (BRASIL, 2013).

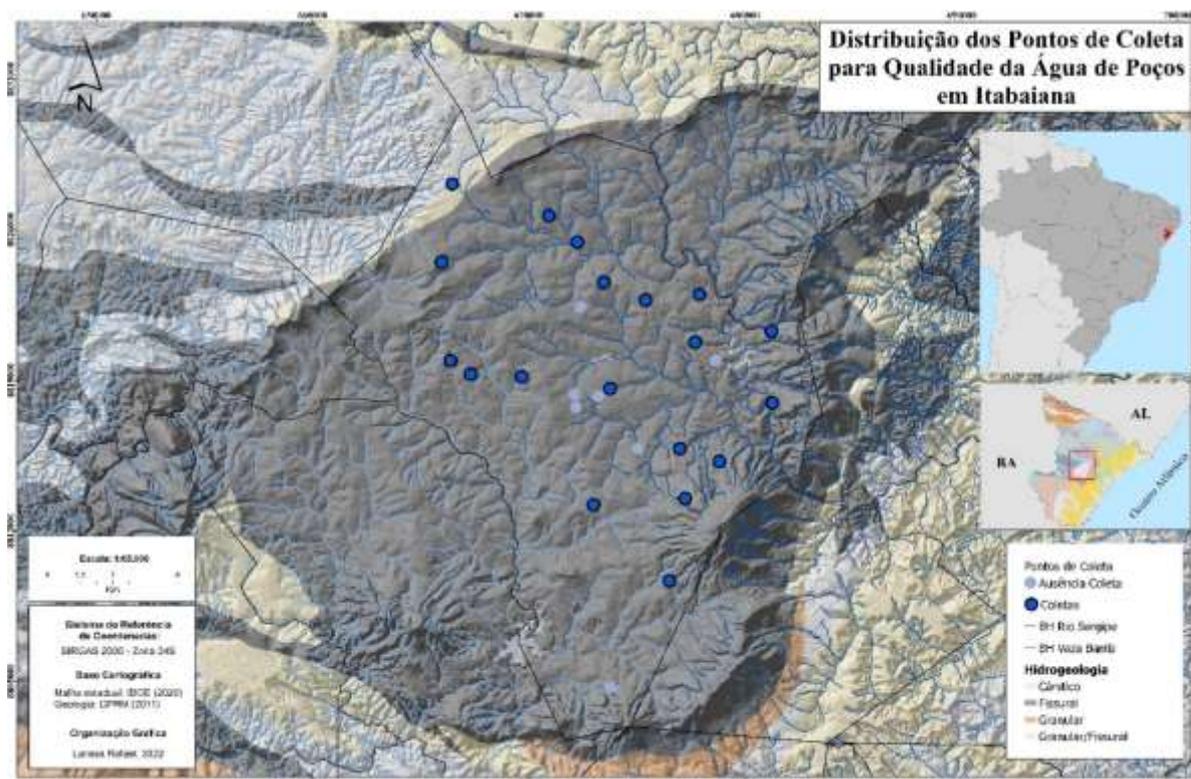
4 METODOLOGIA

A pesquisa em questão, trata-se de um estudo descritivo, exploratório e de análise quantitativa.

4.1 Área de estudo

A área estudada situa-se no município de Itabaiana/SE (Figura 3), na região agreste do estado. Sua sede está localizada nas coordenadas geográficas de 10° 40' 59" ao Sul e 37° 25' 50" ao Oeste, possuindo uma altitude de 180 m. Além disso, possui uma distância de aproximadamente 50 km de Aracaju, a capital do forró sergipano (SERGIPE, 2015). No último censo, o município de Itabaiana possuía uma população total de 86.967 habitantes, tendo uma população estimada de 96.839 para 2021 (IBGE, 2010).

Figura 3 - Mapa de Localização do Município de Itabaiana, da região do Agreste Central Sergipano



Fonte: Autoria Própria (2023).

4.2 Pontos de Coletas

As amostras de água para a realização deste estudo foram coletadas em poços artesianos. Os critérios de inclusão dos poços nesta pesquisa foram: (1) poços públicos e administrados pela prefeitura de Itabaiana; (2) poços com outorga de recursos hídricos; (3) poços localizados em área pública de povoados; (4) poços que representam a principal fonte de recurso hídrico da população que vive no povoado.

O município de Itabaiana possui um total de 48 poços tubulares. A partir disso, foram selecionados poços representantes das regiões Norte, Sul, Leste e Oeste do município, dos quais foram escolhidos um total de 26 poços para compor a amostragem inicial deste trabalho (Tabela 2).

Tabela 2 - Coordenadas dos pontos de coleta das amostras de água dos poços artesianos que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana, Sergipe

CÓDIGO	POVOADO	COORDENADAS
P1	Serra	24L 677227E/8813499N
P2	Roncador	24L666381,2E/8819915N
P3	Taperinha	24L667314,9E/8819277,5N
P4	Cajueiro	24L 677885,8E/8822986N
P5	Pé do Veado	24L 673464E/8823566,6N
P6	Igreja Velha	24L677685,8E/8820764,5N
P7	Barro Preto	24L676976E/8815809N
P8	Zanguê	24L 681254E/8817938N
P9	Estreito	24L672987E/8813199,6N
P10	Água Branca	24L 672241,7E/8825425N
P11	Malhada Velha	24L681212E/8821283N
P12	Terra Vermelha	24L675395,4E/8822736,9N
P13	Caraíbas	24L670920,8E/8826646,5N
P14	Moita Formosa	24L 673759E/8818614,2N
P15	Riacho Doce	24L669671,8E/8819167,3N
P16	Terra Dura	24L 666459E/8828130,9N

P17	Cabeça do Russo	10°37'49" S 37°28'58" O
P18	Bom Jardim	24L 678805,3E/8815218N
P19	Lagamar	24L675022E/8815816N
P20	Nicó	24L 672393E/8822410,4N
P21	Praça da Juventude	24L673211,5E/8818261,8N
P22	Queimadinha	24L678629,4E/8819920,5N
P23	Praça Fausto Cardoso	24L 672105E/8818327N
P24	Calçadão Francisco Teles	24L 672185E/8817738N
P25	Rio das Pedras	10°45'50" S 37°23 '9"O
P 26	Mangueira	10°48'32.2"S 37°24'38.3"W

Fonte: Autoria Própria (2023).

Após visitação para coleta, excluíram-se sete poços, sendo três por estarem desativados e quatro por serem usados exclusivamente para irrigação (Figuras 4a, 4b, 4c, 4d). Dessa forma a amostragem final deste trabalho foi composta por um total de 19 poços.

4.2.1 Procedimentos para Coleta

As coletas para análises microbiológicas e físico-químicas das amostras de água dos poços artesianos selecionados, foram realizadas nos meses de maio a dezembro de 2022, a fim de detectar a presença de microrganismos patogênicos e identificar as alterações na qualidade da água, seja de forma física ou química na água dos poços artesianos.

As amostras foram coletadas diretamente da torneira. Esta, por sua vez, é acoplada a caixa e/ou no poço que armazena toda a água. Antes de iniciada as coletas, a torneira foi higienizada e desinfetada com água sanitária e álcool 70, sendo, posteriormente, enxugada com gazes e/ou algodão. Após a higienização, ligou-se a torneira deixando a água passar por um processo de escoamento, sendo este com intervalo mínimo de cinco minutos. O processo de escoamento é feito para que de fato as tubulações sejam limpas antes de iniciar a coleta. Por fim, a coleta da água foi realizada. Vale ressaltar que todos os procedimentos foram realizados

levando em conta o uso de luvas descartáveis como principal equipamento de proteção individual (EPI) (BRASIL, 2013).

4.2.2 Armazenamento das Amostras

Finalizado o procedimento de coleta, as amostras foram etiquetadas e inseridas em recipiente térmico de gelo com temperatura de 4°C, de acordo com o protocolo de armazenamento para cada tipo de amostra em relação ao parâmetro a ser analisado (Tabela 3) (BRASIL, 2013).

Tabela 3 - Recipiente, forma de preservação e tempo de armazenamento das amostras coletadas para as análises dos parâmetros físico-químicos da água dos poços artesianos que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana, Sergipe

PARÂMETRO	RECIPIENTE	PRESERVAÇÃO	TEMPO
Alcalinidade	Polietileno	Refrigeração (a 4°C)	14 dias
Cloro Residual Livre	Polietileno	Refrigeração (a 4°C)	30min/2h
Condutividade	Polietileno	Refrigeração (a 4°C)	28 dias
Cloretos	Polietileno	Refrigeração (a 4°C)	7dias
Dureza	Polietileno	Refrigeração (a 4°C)	6 meses
Temperatura	-	Não é necessário	<i>In loco</i>
Ph	-	Não é necessário	<i>In loco</i>
Microbiológica	Vidro	Refrigeração (2 a 8°C)	24 horas

Fonte: Adaptada de Brasil (2013).

Para serem realizados os procedimentos de análise laboratorial, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Bioquímica e Microbiologia (LABIMC), como também para o Laboratório de Pesquisa Química II (LAPEQ II), ambos localizados no Campus Universitário Professor Alberto Carvalho da Universidade Federal de Sergipe, no município de Itabaiana.

4.3 Procedimento Microbiológico

As amostras coletadas foram armazenadas em frascos de vidro esterilizados com capacidade máxima de 500 mL, contendo tiosulfato de sódio como quelante. Foram coletadas quatro amostras de cada poço, sendo a análise realizada por duplicatas.

4.3.1 Bactérias Heterotróficas

As amostras de água foram semeadas em placas de Petri, em câmara de fluxo laminar, sendo utilizada a Tryptone Soy Agar (TSA) como meio de cultura. Em cada placa, foi utilizado 0,1 mL de cada amostra, a partir do método de semeadura por esgotamento. Logo em seguida, as placas de Petri foram incubadas na estufa bacteriológica em 37°C no período de 48 horas, e em seguida a contagem total das colônias formadas foram realizadas (BRASIL, 2013).

4.3.2 Bactérias termotolerantes e *Escherichia coli*

A presença/ausência de coliformes termotolerantes e *E. coli* foi analisada, em câmara de fluxo laminar, por meio do método de sistema membrana filtrante, com a utilização do meio de cultura Ágar M-TEC, do qual usou 100 mL de cada amostra de água para a filtragem da membrana. Após feito esse procedimento, as placas de Petris foram incubadas na estufa bacteriológica com temperatura de 37°C no período de 48 horas, e posteriormente analisada a presença/ausência de coliformes ou de *E.Coli*. (APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2017).

4.4 Procedimentos Físico-Químicas

Para realização das coletas físico-químicas, utilizou-se de vasos de polietileno de 2 L. Além disso, o material para a coleta foi previamente deixado em banho contendo ácido nítrico (HNO₃ a 10%), no período de 24 horas e, em seguida,

enxaguados com água destilada e posteriormente secos, de acordo com o material disponibilizado por (BRASIL, 2013).

Para cada poço artesiano, foram coletadas amostras de 2 L de amostra de água. As amostras foram analisadas de acordo com os seguintes parâmetros: Alcalinidade, Cloro Residual Livre, Condutividade elétrica, Cloretos, Dureza total, Temperatura e Potencial Hidrogeniônico (pH). Todas as análises foram realizadas em triplicata, ocorrendo que o valor de referência adotado foi a média aritmética dos resultados das análises e todos os reagentes utilizados apresentavam alto grau de pureza. As técnicas/métodos/Material empregados nas análises de cada parâmetro encontram-se mencionados no Quadro 1.

Quadro 1 - Técnicas/Métodos/Material, reagente e indicador utilizado para a análises dos parâmetros físico-químicos de amostras de água dos poços artesianos

PARÂMETRO	TÉCNICA/MÉTODO/ MATERIAL	REAGENTE	INDICADOR
Alcalinidade	Titulação de Neutralização Ácido-Base	Solução padronizada Ácido sulfúrico 0,0111 mol L ⁻¹ ; Solução de tiosulfato de sódio 0,05 mol L ⁻¹ .	Fenolftaleína; Mistura Indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila
Cloro Residual Livre	N,N-dietil-p-fenilenodiamina(DPD)	Solução DPD para cloro residual livre; Solução tampão de fosfato.	-
Condutividade Elétrica	Condutivímetro CG1800	-	-
Cloretos	Método de Mhor	Solução padronizada de Nitrato de prata	Cromato de potássio (K ₂ CrO ₄) 5%

		(AgNO ₃) 0,0140 mol L ⁻¹ ;	
Dureza total	Titulometria de Complexação com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) sódico	Solução padronizada de EDTA 0,0071 mol L ⁻¹ ; Solução tampão amoniacal de pH10.	Negro de eriocromo T 1%
Temperatura	Termômetro de mercúrio	-	-
pH	Potenciometria	Soluções tampão de pH (4, 7 e 10).	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2013).

4.4.1 Alcalinidade total

Inicialmente, realizou-se o ensaio em branco. Pipetou-se 50 mL de água destilada para um erlenmeyer de 250 mL, adicionou-se três gotas da solução indicadora de fenolftaleína e três gotas da solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila. Em seguida, realizou-se a ambientação da bureta com a solução padronizada de Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,0111 mol L⁻¹, zerou-se a bureta com esta solução e iniciou-se a titulação. O ponto final da titulação foi determinado pela mudança da coloração do azul-esverdeado para a rósea.

Posteriormente, realizou-se a determinação da alcalinidade total da água dos poços, para tal pipetou-se 50 mL da amostra e transferiu-se para um erlenmeyer de 250 mL, em seguida adicionou-se três gotas da solução indicadora de fenolftaleína, não havendo a mudança da coloração adicionou-se três gotas da solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila. Contudo, ressalta-se que caso a água assumira uma coloração rosa, deve-se titular com a solução padronizada de Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,0111 mol L⁻¹, até a mudança da coloração para o incolor e, em seguida adicionar a solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila.

Em seguida, iniciou-se a titulação a solução padronizada de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) $0,0111 \text{ mol L}^{-1}$. O ponto final da titulação foi determinado pela mudança da coloração do azul-esverdeado para a rósea.

4.4.2 Cloro Residual Livre

Para a análise de CRL, seguiu-se o método padrão estabelecido por (APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2017). Desse modo, pipetou-se 1 mL da solução DPD e da solução tampão de fosfato e misturou-se a 10 mL da amostra de água. Para determinação das concentrações de CRL, utilizou-se o método colorimétrico DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina), a partir do Espectrofotômetro de Absorção Molecular UV/Vis da marca UV 1800, utilizando-se uma cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho ótico (Hellma e Beckmann), sendo registrados espectros de absorção molecular na região de 200 a 800 nm, com destaque na absorção máxima de 515 nm para o produto da reação entre o CRL e o DPD.

4.4.3 Condutividade Elétrica

Para a determinação da condutividade elétrica, utilizou-se um condutivímetro CG1800, calibrado de acordo com as instruções do fabricante. Posteriormente, lavou-se o eletrodo com água destilada e em seguida enxugou-se, com papel macio. Após esse procedimento inseriu-se o eletrodo na amostra de água contida em um béquer, esperou-se a estabilização e anotou-se o resultado.

4.4.4 Cloretos

Inicialmente, realizou-se o ensaio em branco. Pipetou-se 100 mL de água destilada para um erlenmeyer de 250 mL, aferiu-se o pH e adicionou-se 1 mL da solução indicadora de Cromato de Potássio (K_2CrO_4) a 5%. Em seguida, realizou-se a ambientação da bureta com a solução padronizada de Nitrato de prata (AgNO_3) $0,0140 \text{ mol L}^{-1}$, zerou-se a bureta com esta solução e iniciou-se a titulação. O ponto

final da titulação foi determinado pela presença de um precipitado amarelo avermelhado.

Em seguida, realizou-se a determinação do cloreto. Pipetou-se 100 mL da amostra e transferiu-se para um erlenmeyer de 250 mL, em seguida aferiu-se o pH e adicionou-se 1 mL da solução indicadora de Cromato de Potássio (K_2CrO_4) 5%. Iniciou-se a titulação, observando ponto final da titulação pela presença de um precipitado amarelo avermelhado.

4.4.5 Dureza total

Primeiramente, realizou-se o ensaio em branco. Pipetou-se 50 mL de água destilada para um erlenmeyer de 250 mL, adicionou-se também 2 mL da solução tampão amoniacal de pH 10 e aferiu-se o pH. É importante mencionar que, caso a amostra não esteja em pH 10 após a adição do tampão amoniacal, deve-se adicionar 0,5 mL da solução até atingir o valor desse pH. Em seguida, adicionou-se 0,05 g do indicador Negro eriocromo T, realizou-se a ambientação da bureta com a solução padronizada de EDTA a $0,0071 \text{ mol L}^{-1}$, zerou a mesma e iniciou-se a titulação. O ponto final da titulação foi determinado pela mudança da coloração rosa para azul.

Logo após, realizou-se a determinação da dureza total das amostras de água dos poços amostrados. Pipetou-se 25 mL da amostra e 25 mL de água destilada, transferiu-se para um erlenmeyer de 250 mL, em seguida adicionou-se 2 mL da solução tampão amoniacal de pH 10 e aferiu-se o pH, fazendo a correção quando necessário com a adição de tampão amoniacal. Após esse procedimento, adicionou-se 0,05 g do indicador Negro eriocromo T, realizou-se a titulação. O ponto final da titulação foi determinado pela mudança da coloração rosa para azul.

4.4.6 Temperatura

Realizou-se a aferição da temperatura nos locais da coleta, com o auxílio de um termômetro de mercúrio, com graduação em $^{\circ}C$, lavou-se o bulbo com água destilada e secou-se com papel macio, inseriu-se o termômetro em um béquer

contendo a amostra, aguardou-se a estabilização do termômetro e anotou-se a temperatura ao final de cada análise.

4.4.7 pH

Para a aferição do pH utilizou-se a técnica potenciométrica, por meio pHmetro portátil digital LUTRON PH-221. Calibrou-se o instrumento em soluções tampão com pH 4, 7, 10, lavou-se o bulbo com água destilada e secou-se com papel macio. Mergulhou-se o eletrodo na solução de modo que ele ficasse totalmente imerso na amostra. Esperou-se a estabilização e anotou-se o resultado.

4.5 Análise dos Dados

Os dados coletados desta pesquisa foram analisados através da estatística descritiva. Para a obtenção dos resultados microbiológicos, utilizou-se de percentuais de somas e médias. Em relação aos parâmetros físico-químicos, foram realizados cálculos de concentrações, média, desvio padrão e intervalo de confiança a 95%. A confecção dos gráficos das análises físico-químicas foi executada no programa Graphic Pad Prism 9.5.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise microbiológica da água

No presente trabalho, foi realizada a coleta e análise microbiológica da água em 19 poços, distribuídos pelos seguintes povoados: Serra, Roncador, Taperinha, Cajueiro, Pé do Veado, Igreja Velha, Barro Preto, Zanguê, Estreito, Água Branca, Malhada Velha, Terra Vermelha, Caraíbas, Moita Formosa, Riacho Doce, Terra Dura, Cabeça do Russo, Bom Jardim e Rio das Pedras.

As análises microbiológicas da água foram realizadas em todas as amostras recolhidas. Estas consistiram na identificação da presença de bactérias heterotróficas e na presença/ausência de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. A partir dos resultados, foi possível identificar a presença de coliformes termotolerantes em nove dos 19 poços, além disso, foi identificado bactérias heterotróficas acima de 500 UFCs em três poços (Tabela 4). Após análise, observou-se que as águas desses poços se mostraram impróprias para o consumo humano, isto, de acordo com o artigo 28 da Portaria nº 2.914/11 e da portaria 888/21.

Tabela 4 - Identificação dos povoados quanto a presença/ausência de coliformes e bactérias heterotróficas nos poços artesianos que abastecem os moradores da zona rural do município de Itabaiana, Sergipe

Povoados	Heterotróficas (mL)	Coliformes termotolerante e <i>E. Coli</i>	Qualidade da água	Clorador
Água Branca	1691	Presente	Inadequada	Não
Malhada Velha	446	Presente	Inadequada	Não
Barro Preto	355	Presente	Inadequada	Não
Estreito	250	Presente	Inadequada	Não
Pé do Veado	194	Presente	Inadequada	Sim
Serra	194	Presente	Inadequada	Sim
Cajueiro	173	Presente	Inadequada	Não
Moita Formosa	73	Presente	Inadequada	Não

Rio das Pedras	17	Presente	Inadequada	Não
Igreja Velha	715	Ausente	Inadequada	Não
Caraíbas	534	Ausente	Inadequada	Sim
Roncador	368	Ausente	Adequada	Sim
Terra Vermelha	347	Ausente	Adequada	Não
Riacho Doce	201	Ausente	Adequada	Não
Terra Dura	170	Ausente	Adequada	Sim
Zanguê	124	Ausente	Adequada	Não
Taperinha	121	Ausente	Adequada	Não
Cabeça do Russo	103	Ausente	Adequada	Sim
Bom Jardim	28	Ausente	Adequada	Sim

Fonte: Autoria Própria (2023).

Na Tabela 4, é possível observar que as amostras de água coletadas nos poços artesianos dos povoados Igreja Velha, Água Branca e Caraíbas indicaram uma contagem de bactérias heterotróficas acima do VMP pela legislação de 500 UFCs/mL por amostra de água analisada, conforme descrito na portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde. As amostras coletadas nos povoados Igreja Velha e Água Branca foram obtidas diretamente dos poços artesianos. Além disso, observou-se que a higienização das margens dos poços apresentava-se em condições precárias, de maneira a contribuir para a poluição da água. (Figuras 5a, 5b).

Figura 4 - Condições de higienização dos poços artesianos onde foram realizadas as coletas das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe

a. Poço no povoado Água Branca



b. Poço no povoado Igreja Velha



Fonte: Autoria Própria (2023).

Quanto ao poço do povoado Caraíbas, as amostras foram coletadas através de uma torneira acoplada a caixa, da qual advém toda a água do poço (Figura 6a). Além disso, existe no poço, um sistema de cloração destinado a desinfecção da água (Figura 6b). Entretanto, mesmo o poço possuindo um sistema de combate a proliferação de microrganismos, os resultados identificaram um índice acima do VMP para bactérias heterotróficas.

Figura 5 - Poço do povoado Caraíbas onde foram realizadas as coletas das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe

a. Torneira acoplada



b. Sistema de Cloração



Fonte: Autoria Própria (2023).

Diante desse contexto, questiona-se o motivo da água apresentar elevado índice de contaminantes mesmo com a presença de um sistema de cloração. A hipótese provável é que o sistema de cloração não está recebendo manutenção adequada, como é possível observar na figura 6b, no qual o equipamento encontra-se quebrado e/ou em mal funcionamento, sendo mantido com o auxílio de materiais improvisados. De acordo com a portaria GM/MS nº 888/21 toda água destinada para o consumo humano deve passar por um sistema de cloração, além de ser monitorada periodicamente (BRASIL, 2021).

A partir das visitas nos locais de coleta, foi observado que a caixa que recebe a água, é acoplada ao poço, nesse caso destaca-se a importância da higienização em intervalo máximo de um ano. Na falta desses procedimentos de limpeza, ocorre o surgimento das bactérias heterotróficas, uma vez que, esses microrganismos depende do carbono orgânico para a sua nutrição, formando biofilmes nas tubulações de armazenamento de água em decorrência da falta de manutenção e limpeza (SOUZA; SANTOS, 2019).

O surgimento dessas bactérias nas tubulações dos canos da água, cria uma comunidade de microrganismos, os quais se consolidam através das matrizes de exopolissacarídeos, estes por sua vez, produzindo biofilmes (VARGAS et al., 2021).

A presença de biofilmes nos sistemas de abastecimento de água potável, torna-se preocupante, pois aumenta a resistência dos microrganismos no processo de desinfecção da água (LIN et al., 2017).

Em relação à presença/ausência de coliformes, os resultados do presente trabalho apresentado na (Tabela 4), apresentaram nove poços com presença de *E. coli* nos seguintes povoados: Serra, Cajueiro, Pé do Veado, Barro Preto, Estreito, Água Branca, Malhada Velha, Moita Formosa e Rio das Pedras. Vale ressaltar que, a coleta das amostras foi realizada a partir de uma torneira acoplada à caixa que provém dos respectivos poços, de maneira semelhante ao observado na figura 6a. De acordo com o art. 27, consolidação nº 5 da portaria 888/21, diz que: “A água potável para consumo humano deve estar em conformidade com o padrão microbiológico”, conseqüentemente, significa que a existência de coliformes precisa estar como ausente na água destinada para o consumo (BRASIL, 2021).

Durante as coletas do presente estudo, foi possível observar fatores que contribuem para a contaminação fecal da água dos poços. Dessa maneira, destaca-se os poços dos povoados Água Branca, Malhada Velha e Moita Formosa, pois existe a presença de esgotos a céu aberto, bem como a inserção de lixos nas proximidades dos poços, além de criação de bovinos. (Figuras 7a, 7b, 7c). Em consonância, Lapointe, Herren e Paule (2017), mencionam que além do descarte de lixo, as fossas sépticas das residências contribuem com a poluição fecal da água, pois durante o período de precipitação podem se sobrecarregar, permitindo que os dejetos humanos não tratados fluam através das valas de drenagem e cheguem até as proximidades dos mananciais de água subterrâneos.

Figura 6 - Poluentes as margens dos poços artesanais onde foram realizadas as coletas das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe.

a. Poço do povoado Água Branca



b. Poço do povoado Malhada Velha



c. Poço do povoado Moita Formosa



Fonte: Autoria Própria (2023).

Nos poços artesanais dos povoados Serra e Pé do Veado existe a instalação do sistema de cloração da água, e mesmo com esse sistema, a água contém a presença de *E. coli*. De acordo com Siqueira, Lima e Santos (2022), em um trabalho realizado no município do estado de Sergipe, Brasil, foi identificado a presença de *E. coli* e bactérias heterotróficas em 80% das amostras de água recolhida dos poços

artesianos. Os dados demonstram que a presença de microrganismos em águas de poços artesianos é um problema crescente.

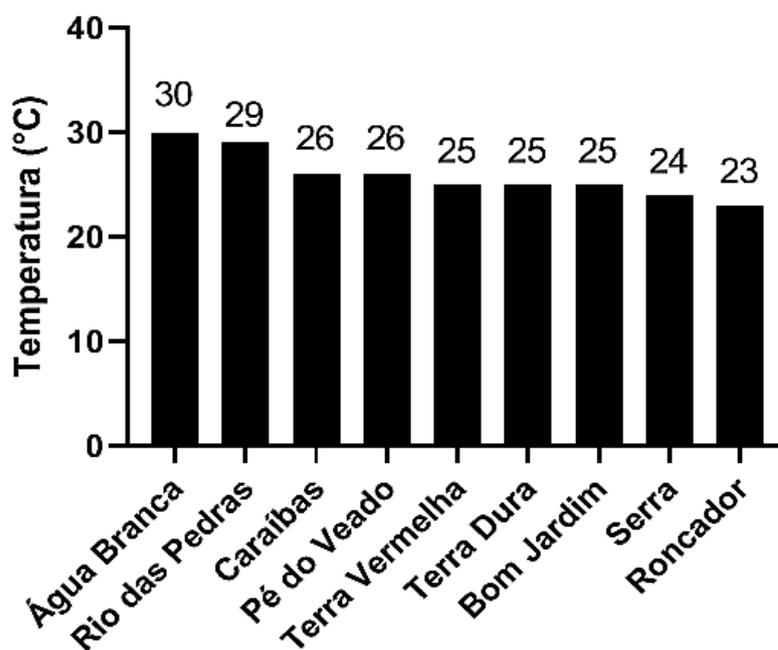
A água de poços artesianos contaminada tem potencial de causar inúmeras doenças, entre as principais destaca-se, a diarreia causada por bactérias (*Escherichia coli*, *Salmonella*), além de vírus (Rotavírus, Norovírus, Adenovírus, Sapovírus) e protozoários e helmintos (amebíase, ascaridíase, giardíase) (PINTANEL; CECCONELLO; CENTENO, 2021). Em consonância com Vitor e colaboradores (2021), em trabalho que buscou avaliar a incidência de doenças de veiculação hídrica nas cinco regiões brasileiras, identificou diversas condições precárias de saneamento básico. Os dados do trabalho identificaram como principais doenças nas regiões Norte e Nordeste a diarreia com 23,1% e as verminoses com 17,2%.

5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos da água

Nas análises dos parâmetros físico-químicos da água, foram selecionados a partir dos resultados microbiológicos, cinco poços que possuíam maior índice de contaminação por microrganismos patogênicos. Os poços selecionados estão distribuídos nos seguintes povoados: Água Branca, Caraíbas, Pé do Veado, Rio das Pedras e Serra. Além disso, para critérios de comparação, também foram selecionados a partir dos resultados microbiológicos, quatro poços que se apresentaram dentro dos padrões de potabilidade de água, sendo estes, localizados nos povoados Bom Jardim, Roncador, Terra Dura e Terra Vermelha.

5.2.1 Temperatura

Os resultados referentes aos parâmetros de temperatura da água dos poços, (Figura 8), mostraram-se dentro do VMP de acordo com a OMS. Vale ressaltar que, os parâmetros de temperatura da água podem sofrer variações a depender do horário, do período e do mês que seja realizada a coleta, que também pode ser influenciada de acordo com cada região (Norte, Sul, Leste, Oeste).

Figura 7 - Valores de temperatura de cada ponto de coleta dos poços artesianos

Fonte: Autoria Própria (2023).

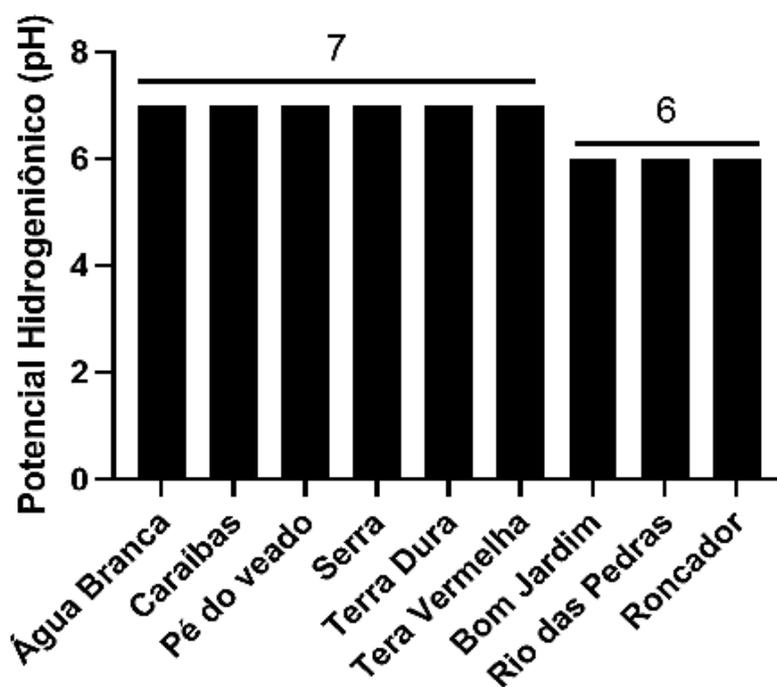
Alguns estudos mostram uma discordância quanto aos resultados deste trabalho. A pesquisa de (SILVA et al., 2017), realizada no município de Remígio/PB, buscou analisar os parâmetros físico-químicos da água de quatro poços dessa localidade. Os autores, obtiveram resultados com valores de temperatura que variaram entre 28°C a 28,9°C. Outro estudo realizado no município de Humaitá/AM, analisou a temperatura da água de cinco poços. Nesse estudo, os resultados obtidos apresentaram índices elevados de temperatura em todas as amostras, variando entre 33°C a 36°C. Os autores explicaram que, as elevadas temperaturas estão relacionadas com a exposição direta dos poços com a radiação solar (COSTA; OLIVEIRA; VALENTE, 2018).

Dentre algumas circunstâncias que apresentaram discordância nos resultados do presente trabalho com os encontrados na literatura, deve-se ao fato que, a temperatura em análises de água, possui influência em processos biológicos, bem como nas reações químicas e bioquímicas, além da solubilidade dos gases dissolvidos e sais minerais (BARBOSA et al., 2022). Caso ocorra um aumento na temperatura, conseqüentemente, ocorre a redução na solubilidade dos gases e o aumento dos sais minerais, que por sua vez, influencia no desenvolvimento do crescimento microbiano (HILLEBRAND; BENETTI, 2020).

5.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

A análise do pH permite a classificação dos graus de acidez, neutralização e alcalinidade que possam ser encontrados em amostras de água. Em relação aos valores de pH identificados neste trabalho, é possível constatar que eles se encontram em sua escala de normalidade padrão (Figura 9), assim como descrito na portaria 888/21, a qual recomenda que o pH seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

Figura 8 - Valor de pH encontrado nas amostras de água coletadas



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em estudo realizado por Cunha e colaboradores (2020), que analisou os valores de pH nas águas de cinco poços, foi identificado pelos autores uma variação na escala de pH entre 4,96 a 6,23. Comparando o estudo de Cunha e colaboradores (2020) com os dados do presente trabalho, é possível observar que existe uma diferença nos resultados dos poços analisados, cujo os valores indicam que a água possui características ácidas, exceto, na água coletada no ponto um, pois, o valor do pH deste ponto encontra-se em conformidade com a escala descrita na portaria 888/21.

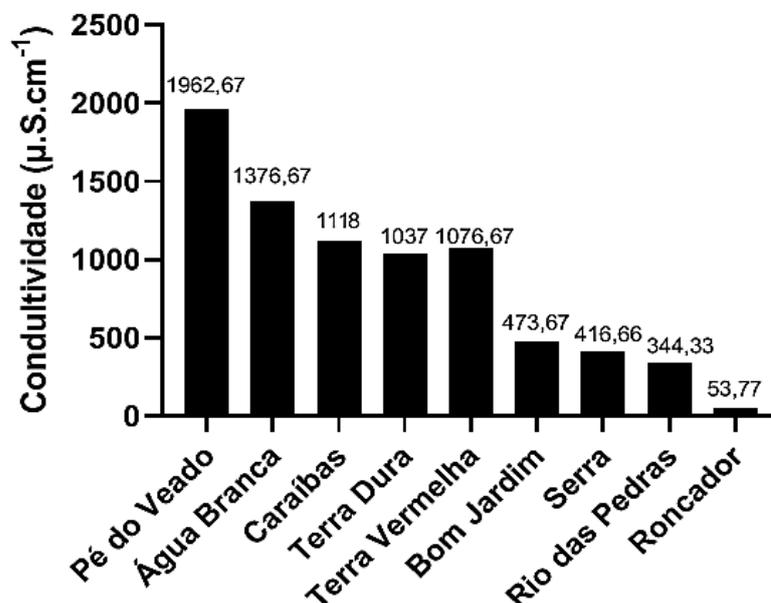
Vale ressaltar que, o trabalho de Cunha e colaboradores (2020), foi realizado em uma época de precipitações, fator este que pode contribuir com o grau de acidez

da água. Além disso, pode estar relacionado com o fluxo de água das enxurradas, uma vez que, muitos poços não apresentam a impermeabilização para a água das chuvas, diferentemente do estudo em questão, em que as coletas foram realizadas em diferentes estações do ano, no final da primavera e início de verão.

5.2.3 Condutividade elétrica

Os valores de condutividade elétrica avaliados nesta pesquisa (Figura 10), indicam variações entre $53,77 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $1962,67 \mu\text{S cm}^{-1}$. Todos os poços analisados, exceto o poço do povoado Roncador está em desconformidade com a legislação presente na OMS, a qual indica que os valores de condutividade devem estar entre $10 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Figura 9 - Valores de CE encontrados na pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2023).

Valores semelhantes de condutividade elétrica foram identificados em trabalho realizado no município de Vitória da Conquista/BA por Barbosa e colaboradores (2022). Os autores analisaram a água de cinco poços e nela encontraram valores de CE que variaram entre $227 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $505 \mu\text{S cm}^{-1}$. Esses altos valores identificados podem ser originados a partir de sais dos lixiviados das

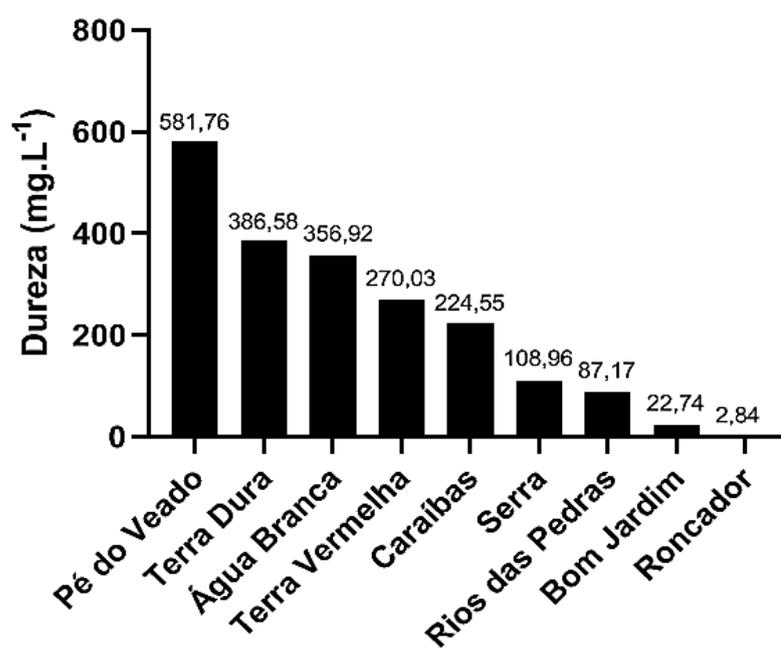
rochas, bem como da decomposição da matéria orgânica, a qual resulta na contaminação dos aquíferos (SILVA, 2019).

Além disso, é possível realizar um paralelo com os demais parâmetros físico-químicos analisados neste trabalho, tais como alcalinidade, dureza e cloreto, visto que ambos buscam determinar íons presentes na água. Com isso, é possível observar na (Figura 10), que os poços dos povoados Pé do Veado, Água Branca, Caraíbas, Terra Dura e Terra Vermelha, apresentaram valores elevados de CE, conseqüentemente, os parâmetros alcalinidade, dureza e cloreto também apresentam altas concentrações em seus resultados, como observado.

5.2.4 Dureza total

Para que a água seja considerada própria para o consumo humano, a dureza deve estar com o seu VMP em até 300 mg L^{-1} , de acordo com a Portaria 888/21. As amostras de água dos poços dos povoados Pé do veado, Terra Dura e Água Branca (Figura 11), excederam-se o VMP. Por outro lado, os poços dos povoados Terra Vermelha, Caraíbas, Serra, Rio das Pedras, Bom Jardim e Roncador, que estão em conformidade com a legislação vigente.

Figura 10 - Valores da dureza da água encontrados na pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2023).

De acordo com Cunha e colaboradores (2020), a dureza da água é classificada em quatro classes (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação da dureza na água

Classe	Dureza	Classificação (mg L⁻¹)	Poços
1	Água Mole/Branda	Menores que 50	Bom Jardim e Roncador
2	Moderada	50 a 150	Serra e Rio da Pedras
3	Dura	150 a 300	Terra Vermelha e Caraíbas
4	Muito Dura	Acima de 300	Pé do Veado, Terra Dura e Água Branca

Fonte: Adaptado de Cunha e colaboradores (2020).

Resultados semelhantes, em relação a alguns dos poços analisados neste trabalho, foram encontrados na pesquisa de Crispim e colaboradores (2017), que analisaram a água de três poços localizados no município de Pombal/PB. Os autores identificaram valores na dureza que variaram entre 271 mg L⁻¹ a 423 mg L⁻¹.

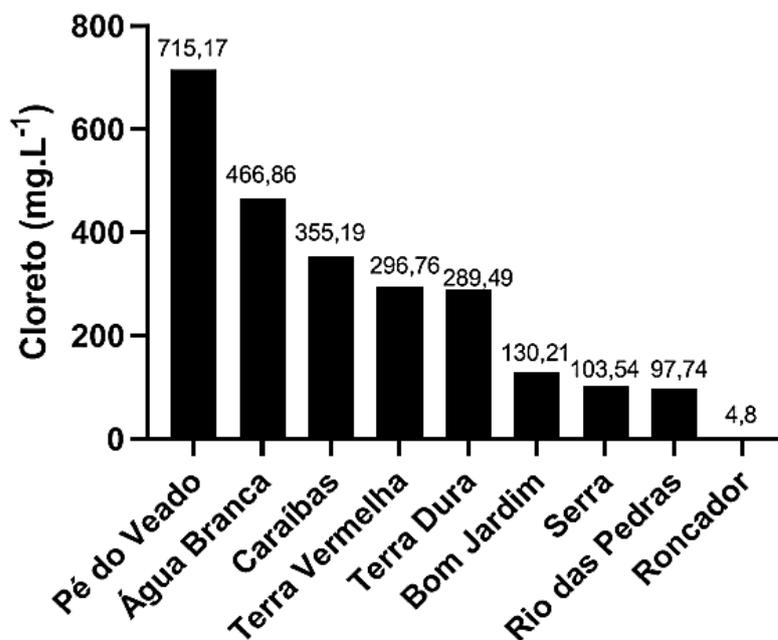
As águas que apresentam altos índices de dureza, conseqüentemente, reduzem a formação de espumas, que por sua vez, necessita de um maior consumo de sabões para as diversas finalidades do dia a dia. Além disso, uma água classificada como dura ou muito dura gera incrustações nas tubulações, ocasionando assim, o entupimento dos canos de água (BAGATINI; BONZANINI; OLIVEIRA, 2017).

5.2.5 Cloreto

A análise de cloreto (Figura 12), permite que seu VMP seja de até 250 mg L⁻¹, de acordo com a Portaria 888/21/MS. Os resultados obtidos mostraram índices que ultrapassaram o VMP nos poços dos seguintes povoados, Pé do veado, Água Branca, Caraíbas, Terra Vermelha e Terra Dura. Entretanto, os poços dos povoados

Bom Jardim, Serra, Rio das Pedras e Roncador, estão em conformidade com a legislação.

Figura 11 - Valores de Cloretos encontrados nos pontos analisados



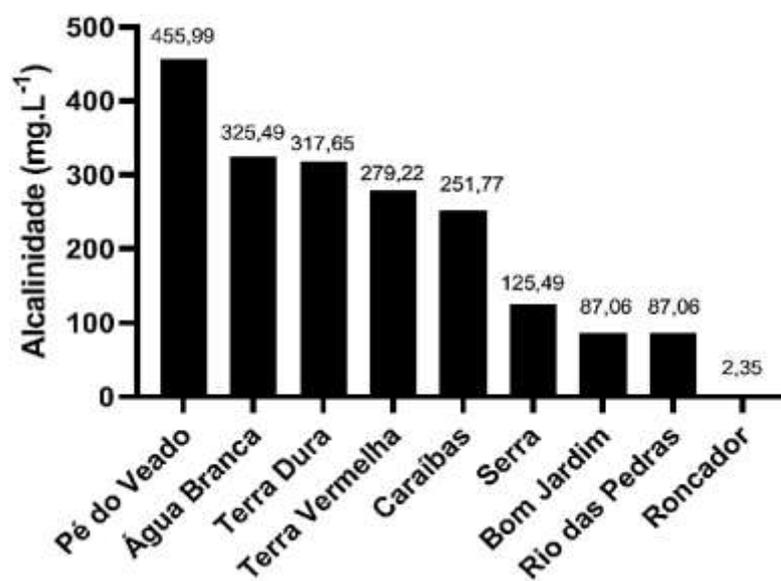
Fonte: Autoria Própria (2023).

Em pesquisa realizada por Junior e colaboradores (2021), que avaliaram cinco poços de um complexo turístico no estado do Ceará, obtiveram em seus resultados, valores de cloretos semelhantes, na maioria dos poços da presente pesquisa, tais valores variaram entre 29,37 mg L⁻¹ a 310,86 mg L⁻¹. Os altos valores de cloretos encontrados na maioria dos poços desta pesquisa, podem restringir o uso da água em relação ao sabor salgado que lhe é atribuído, podendo provocar efeitos laxativos para quem consome da água contaminada (HERPHS et al., 2023). Além disso, o número elevado de cloretos pode ser devido a contaminação relacionada aos esgotos sanitários, uma vez que, estes íons estão presentes na urina dos seres humanos e de outros animais, contribuindo assim, para a poluição da água dos poços (OLIVEIRA; RAMIRES, 2019).

5.2.6 Alcalinidade total

É importante ressaltar que, não existe VMP para este parâmetro, mas normalmente as águas subterrâneas encontram-se com seu VMP em até 300 mg L⁻¹ (BRASIL,2013). Os valores de alcalinidade (Figura 13), identificados nos poços dos povoados Pé do Veado, Água Branca, Terra Dura, apresentaram acima deste valor. Entretanto, os poços dos povoados Terra Vermelha, Caraíbas, Serra, Bom Jardim, Rio das Pedras e Roncador, estão com seus valores de acordo com a literatura.

Figura 12 - Valores de Alcalinidade total na água dos poços analisados



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em uma pesquisa realizada por Lima e colaboradores (2020), no município de Triunfo/PB, os valores encontrados de alcalinidade foram semelhantes à maioria dos poços do presente estudo, pois apresentaram-se superior ao indicado pela a literatura, que variaram entre 209 mg L⁻¹ a 405 mg L⁻¹. A alcalinidade possui a capacidade de neutralizar ácidos, estes por sua vez, resultante da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Em amostras de água para o consumo humano, os valores elevados de alcalinidade proporcionam um sabor desagradável na água, além de ser um indicativo de contaminação e de valores elevados de condutividade elétrica (BARBOSA et al., 2022).

Além disso, o poço do povoado roncador pode estar relacionado a um outro fator, sendo este a presença do dessalinizador, que possui como função a retirada

dos sais presentes na água e outras impurezas. Como mostram os valores baixos dos parâmetros de: alcalinidade, cloreto, dureza e condutividade elétrica, referente as análises do poço mencionado.

5.2.7 Cloro Residual Livre

Os resultados obtidos, após análise das amostras dos poços com clorador, utilizando o método colorimétrico DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina). Estão ilustrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Teor de cloro residual livre das amostras de água coletadas

Poços	Valores de Cloro residual livre (mg L ⁻¹)
Bom Jardim	0,00
Caraíbas	0,064
Pé do veado	0,00
Roncador	0,00
Serra	0,00
Terra Dura	0,00

Fonte: Autoria Própria (2023).

De acordo com os dados na Tabela 6, é possível observar que nenhum dos poços analisados apresentou valores em concordância com a legislação vigente. Visto que, a legislação nº 888/2021 do MS, menciona que o teor mínimo permitido de cloro residual livre, presente água potável seja de 0,5 mg L⁻¹ e máximo de 2 mg L⁻¹ (BRASIL, 2021). Com isso, torna-se necessário a desinfecção da água dos poços, levando em consideração que esse procedimento é de caráter corretivo e preventivo (DUDA; ZDECHLIK; KANIA, 2021). Contudo, observa-se que os poços Bom Jardim e Terra Dura, mesmo com VMP abaixo do exigido pela legislação vigente, são adequados para o consumo humano, em relação aos parâmetros microbiológicos.

A ausência do teor mínimo de CRL, pode contribuir para a presença de contaminantes biológicos na água destinada para o consumo humano. Fazendo um paralelo com as análises microbiológicas da água dos poços inadequadas para o consumo humano, em relação aos parâmetros microbiológicos (Tabela 04), mesmo

contendo a instalação do clorador, evidenciou-se que, os poços dos povoados Pé do veado, Caraíbas e Serra não atingiram a quantidade mínima de CRL, fator este que contribui para a presença de microrganismos patogênicos na água, tornando-as impróprias para o consumo humano.

Comparando o parâmetro de CRL analisado com outros trabalhos, foi possível observar, em um estudo realizado por Oliveira (2021), da análise da água de nove poços no município do Cerro do Lardo/RS, que o teor de cloro residual não apresentaram-se valores mínimos, pois foram iguais a zero, nos quais as amostras foram recolhidas em poços da zona rural, corroborando com os dados apresentados na presente pesquisa.

É possível salientar que, apesar dos resultados obtidos não apresentarem o valor mínimo de cloro residual livre, não se pode afirmar que as águas estão impróprias para o consumo. Visto que, é necessário que haja um monitoramento contínuo da análise da água desses poços (AZEVEDO et al., 2019).

5.3 Propostas de Melhoria para a Qualidade da Água

5.3.1 Tratamento da água

A qualidade da água, destinada para o consumo humano, depende do tipo ou fase de tratamento que é submetida, em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional, dentre essas fases estão: filtração e a desinfecção. Caso alguns desses procedimentos não sejam oferecidos à população, a qualidade da água é comprometida (ENGLANDE; KRENKEL; SHAMAS, 2015).

São inúmeras as alternativas para a desinfecção da água que é destinada para o consumo humano. Dentre os mecanismos de desinfecção mais utilizados estão os desinfetantes químicos, representados pelo hipoclorito de sódio (NaOCl), dióxido de cloro (ClO_2), cloramina (NH_2Cl) e ozônio (O_3). Todos esses compostos possuem em comum uma estabilidade robusta para o tratamento da água (XIAO et al., 2019). Os agentes químicos mais utilizados no processo alternativo de desinfecção são o NaOCl e a água sanitária. Seu uso deve-se ao baixo custo e fácil acesso. Entretanto, a aplicação desses produtos deve ser realizada seguindo as regras e quantidades preestabelecidas em seu manual (TERIN et al., 2021).

Além desses compostos, também se utiliza os métodos de desinfecção física, sendo os principais o uso da radiação UV e da cavitação hidrodinâmica. Vale ressaltar que estes métodos têm sido amplamente utilizados no processo de inibição ou remoção de microrganismos patogênicos no tratamento da água contaminada (XIAO et al., 2019).

A filtragem da água para consumo humano deve ser realizada constantemente. Dentre os métodos convencionais estão os filtros domésticos, o uso de coador, seja de papel, bem como a fervura da água a ser consumida. Uma vez fervida, a água elimina bactérias, vírus e parasitas. Enquanto no processo de filtração por meio do uso de filtro doméstico, do coador de papel e/ou alumínio, duas gotas de hipoclorito de sódio (2,5%) para cada 1L de água deve ser inserida antes de iniciada a filtração. Em seguida, deve-se deixar o recipiente repousar pelo intervalo de quinze minutos (BRASIL, 2011).

5.3.2 Utilização de clorador nos poços para a desinfecção de água

A desinfecção da água através do método de cloração é um processo que serve para a eliminação dos microrganismos patogênicos que eventualmente possam ser encontrados na água (SILVA; GONÇALVES; FRIAES, 2022).

O clorador é um recipiente de plástico formado por tubo de PVC. Em seu interior, é encontrada uma mistura de areia lavada e hipoclorito de cálcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. É um produto de fácil acesso, pois é encontrado em casas especializadas em artigos para piscinas e/ou limpeza. Para o procedimento de uso, a areia lavada não deve conter matéria orgânica ou argila, além de ser recomendado que ela não seja nem muito fina ou muito grossa, ou seja, que tenha uma granulometria adequada. Ao ser utilizado, o clorador libera o $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ na água em concentrações homogêneas, o que mantém um teor residual de cloro até o fim de sua vida útil. Além disso, a areia possui a função de controlar a quantidade de desinfecção da água (FERREIRA; LUZ; BUSS, 2016).

O processo de desinfecção da água com o uso do clorador deve ser realizada uma vez ao mês, onde é inserida no equipamento o equivalente a 1,5g de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, equivalente a um reservatório em seu nível máximo de capacidade de 1000L (MACIEL et al., 2021).

Deve-se evitar o excesso de cloro residual livre, de acordo com a portaria nº 888/21/MS, o valor mínimo é de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ e máximo de 2 mg L^{-1} , pois o contato desse elemento com a matéria orgânica natural da água pode formar subprodutos, a exemplo dos ácidos haloacéticos e, conseqüentemente, ocasionar riscos para a saúde da população. (MUKHOPADHYAY; DUTTAGUPTA; MUKHERJEE, 2022).

É importante ressaltar que a limpeza das caixas de armazenamento de água advindas dos poços tubulares é de extrema necessidade. Pois, ao longo do tempo esses reservatórios tendem a sofrer acúmulo de substâncias em suas paredes e fundo, oriundos da própria água (SOUZA; SANTOS, 2019).

5.3.3 Qual seria o tratamento adequado para a distribuição da água de poços para o consumo humano?

Após a realização das análises dos parâmetros microbiológico e físico-químicos da água dos poços artesianos, o poço do povoado Roncador (Figuras 14a, 14b e 14c) classificou-se como água potável, em relação aos parâmetros analisados. Ressalta-se que, esse poço apresenta o sistema de cloração, que serve para o tratamento da eliminação dos microrganismos patogênicos da água, além de apresentar um sistema de dessalinização.

Figura 13 - Poço do povoado Roncador e o sistema de tratamento para água potável

a. Poço do povoado Roncador



b. Clorador no poço do povoado Roncador



c. Sistema de dessalinização por osmose



Fonte: Autoria Própria (2023).

O processo de dessalinização na água é feito através de tecnologias de membranas semipermeáveis, conhecido por osmose reversa, a qual permite a passagem das moléculas de água, contribuindo para a obstrução dos sais presentes em águas salobras, que são oriundos de poços (NASCIMENTO; SANTOS; PRATA, 2020). Além disso, a instalação do processo de osmose reversa possui algumas vantagens, a exemplo de até 75% do rendimento de água purificada, redução dos sais em até 99%, além da eliminação de bactérias e de outras partículas que possam ser encontradas na água (SILVA; QUIRINO, 2020).

CONCLUSÃO

Mediante a realização das análises da água dos poços artesianos tubulares na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe, foi possível investigar a potabilidade da água através da comparação dos resultados dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos com as portarias de consolidação nº 2.914/11 e nº 888/21, ministério da saúde, as quais estabelecem valores máximos permitidos (VMP) a respeito dos parâmetros mencionados.

Os VMP para bactérias heterotróficas excederam-se em três poços e para *E. Coli* em nove poços. A presença dessas bactérias pode estar associada a falta de saneamento básico, bem como a falta de limpeza a às margens dos poços, a presença de fossas negras, além da falta de manutenção dos aparelhos de desinfecção da água. Visto que, para a análise de cloro residual livre todos os poços analisados não possuem o teor mínimo de cloro para a desinfecção da água dos aquíferos.

Em relação aos demais parâmetros alguns poços, ultrapassaram-se o VMP para a condutividade elétrica em oito poços, Dureza em três poços, Cloretos em cinco poços, Alcalinidade em seis poços. Quanto aos parâmetros de Temperatura e Potencial Hidrogeniônico(pH), todos os pontos analisados estão em conformidade com a legislação. É importante ressaltar que, os VMP dos parâmetros físico-químicos, podem estar associados a partir de sais dos lixiviados das rochas, resultando na contaminação da água dos poços.

Dessa maneira, o presente trabalho mostrou que há uma quantidade expressiva de poços contaminados. No entanto, após as análises microbiológicas e físico-químicas, foi possível identificar oito poços com a potabilidade da água adequada para o consumo humano. Estes, por sua vez, localizados nos seguintes povoados: Roncador, Taperinha, Zanguê, Terra Vermelha, Riacho Doce, Cabeça do Russo e Bom Jardim.

Sendo assim, é de fundamental importância que as políticas públicas sejam de fato postas em práticas, pois é necessário a reestruturação dessas fontes de abastecimento de água, através da desinfecção dos poços, além da conscientização da própria população, pois a utilização da água contaminada está pondo em risco a saúde da população. Além disso, é importante que pesquisas futuras sejam feitas dando continuidade a este estudo, realizando o monitoramento periódico dos

parâmetros analisados, tal como a inserção de novos parâmetros a exemplo da análise de agrotóxicos, uma vez que os produtores rurais do município de Itabaiana/SE, utilizam de pesticidas em suas plantações que estão nas proximidades poços analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMMED, B.; KIBRIA, K. Q. Suitability of Tube-Wells Water for Drinking at Lalpur Upazila in Natore District, Rajshahi, Bangladesh. **International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)**, v. 9, n. 6, 2019.
- AL-HASHIMI, O. et al. A Comprehensive Review for Groundwater Contamination and Remediation: Occurrence, Migration and Adsorption Modelling. **Molecules**, v. 26, p. 1–28, 2021.
- ALVES, M. A.; CORDEIRO, M. R.; MILO, R. L. Ocorrência das águas subterrâneas no município de Montes Claros - MG: um estudo de caso utilizando a geotecnologia. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 1–10, 2019.
- AMANAMBU, A. C. et al. Groundwater system and climate change: Present status and future considerations. **Journal of Hydrology**, v. 589, n. December 2019, p. 125-163, 2020.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Agência Nacional de Águas, 2010.
- APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, A. W. W. A. **Standart Methods for the Examination of Water e Wastewater**. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.
- AZEVEDO, A. C. R. et al. Avaliação da concentração de cloro residual livre na rede de distribuição de água em um bairro de Itabaiana/SE. **XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe**, 2019.
- BAGATINI, M.; BONZANINI, V.; OLIVEIRA, E. C. Análise Da Qualidade Da Água Em Poços Artesianos Na Região De Roca Sales, Vale Do Taquari. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, p. 84–91, 2017.
- BAPTISTA, O. G. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Água potável: escassez e gestão do consumo em condomínios residenciais metropolitanos/Drinking water: scarcity and consumption management in metropolitan residential buildings. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 8384–8397, 2022.
- BARBOSA, E. C. et al. Análise físico-química e microbiológica da água de poços artesianos em condomínios no município de Vitória da Conquista – BA. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, 2022.
- BODRUD-DOZA, M. et al. Groundwater pollution by trace metals and human health risk assessment in central west part of Bangladesh. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 9, 2019.
- BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G. DA; BENVENUT, S. M. P. **Diagnóstico do Município de Itabaiana**. Aracaju: Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe, 2002.

BORETTI, A.; ROSA, L. Reassessing the projections of the World Water Development Report. **npj Clean Water**, v. 2, n. 1, 2019.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

BRASIL. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Ministério do Meio Ambiente, 2007.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Brasil: Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2008.

BRASIL. **Portaria MS Nº 2.914, de Dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Ministério da Saúde, 2017.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 .Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Ministério da saúde, 2021.

CABIGUEN JR, M. L.; SORIANO, A. N.; ADORNADO, A. P. Reduction of water hardness from groundwater in Puerto Princesa City, Palawan, Philippines using electrocoagulation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 191, n. 1, 2018.

CAMPOS, L. M. V. et al. QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO EM IGUATAMA, MG, BRASIL. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 16, 2019.
CONDON, L. E. et al. Global Groundwater Modeling and Monitoring: Opportunities and Challenges. **Water Resources Research**, v. 57, n. 12, p. 1–27, 2021.

COSTA, T. R. DA; OLIVEIRA, B. O. S. DE; VALENTE, K. S. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE POÇOS CACIMBAS E RASOS NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM. **EDUCamazônia**, v. XX, p. 157–172, 2018.

CRISPIM, D. L. et al. Análise Físico-Química Das Águas De Três Poços Amazonas No Centro Da Cidade De Pombal-PB. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 2, p. 155–163, 2017.

CUNHA, G. D. DA et al. Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. **Revista Brasileira De Ciências Da Amazônia**, v. 9, n. 2, 2020.

DOĞAN-HALKMAN, H. B. et al. Relationship among fecal coliforms and Escherichia

coli in various foods. **European Food Research and Technology**, v. 216, n. 4, p. 331–334, 2003.

DUARTE, L. M. et al. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Ambiente e Agua**, v. 11, n. 2, p. 445–458, 2016.

DUDA, R.; ZDECHLIK, R.; KANIA, J. Semiquantitative Risk Assessment Method for Groundwater Source Protection Using a Process-based Interdisciplinary Approach. **Water Resources Management**, v. 35, n. 10, 2021.

ENGLANDE, A. J.; KRENKEL, P.; SHAMAS, J. Wastewater Treatment & Water Reclamation. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, p. 1–32, 2015.

EXNER, M.; VACATA, V.; GEBEL, J. Public health aspects of the role of HPC — an introduction. In: BARTRAM, J. et al. (Eds.). **Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety - The Significance of HPCs for Water Quality and Human Health**. IWA, 2003. p. 27–34.

FERREIRA, D. C. et al. Investment in drinking water and sanitation infrastructure and its impact on waterborne diseases dissemination: The Brazilian case. **Science of the Total Environment**, v. 779, 2021.

FERREIRA, D. C.; LUZ, S. L. B.; BUSS, D. F. Evaluation of simple diffusion chlorinators for decontamination of wells in a rural settlement in Amazonia, Brazil. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 767–776, 2016.

FERRER, N. et al. What are the main factors influencing the presence of faecal bacteria pollution in groundwater systems in developing countries? **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 228, n. April 2019, 2020.

FORTES, A. C. C.; BARROCAS, P. R. G.; KLIGERMAN, D. C. A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 20–34, 2019.

HAMMAD, A. M. et al. Loads of Coliforms and Fecal Coliforms and Characterization of Thermotolerant *Escherichia coli* in Fresh Raw Milk Cheese. **Foods**, v. 11, p. 332, 2022.

HASAN, M. K.; SHAHRIAR, A.; JIM, K. U. Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. **Elsevier**, v. 5, n. 8, 2019.

HERPHS, L. S. et al. Análises físico-químicas e microbiológicas da água destinada ao consumo humano em instituições públicas de ensino da cidade de Porto Seguro - BA. **Revista Tecnologia e sociedade**, v. 19, n. 55, p. 329–344, 2023.

HILLEBRAND, F. J.; BENETTI, A. D. Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 237–246, 2020.

IBGE. **Brasil - Cidades 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 out. 2022

JAFARZADEH, N. et al. Non-carcinogenic risk assessment of exposure to heavy metals in underground water resources in Saraven, Iran: Spatial distribution, monte-carlo simulation, sensitive analysis. **Environmental Research**, v. 204, 2022.

JI, Y. et al. Seasonal Variation of Drinking Water Quality and Human Health Risk Assessment in Hancheng City of Guanzhong Plain, China. **Exposure and Health**, v. 12, n. 3, p. 469–485, 2020.

LAPOINTE, B. E.; HERREN, L. W.; PAULE, A. L. Septic systems contribute to nutrient pollution and harmful algal blooms in the St. Lucie Estuary, Southeast Florida, USA. **Harmful Algae**, v. 70, p. 1–22, 2017.

LECLERC, H. Relationships between common water bacteria and pathogens in drinking-water. In: BARTRAM, J. et al. (Eds.). **Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety - The Significance of HPCs for Water Quality and Human Health**. IWA, 2003. p. 95–133.

LI, W. et al. Groundwater Pollution Source Identification and Apportionment Using PMF and PCA-APCS-MLR Receptor Models in Tongchuan City, China. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 81, n. 3, p. 397–413, 2021.

LIMA, S. L. DE et al. Geotecnologias aplicadas à análise de parâmetros físico-químicos em águas de poços públicos na zona urbana de Triunfo/PB. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, 2020.

LIN, H. et al. Effect of sodium hypochlorite on typical biofilms formed in drinking water distribution systems. **Journal of Water and Health**, v. 15, n. 2, p. 218–227, 2017.

MACIEL, P. M. F. et al. Household water purification system comprising cartridge filtration, UVC disinfection and chlorination to treat turbid raw water. **Journal of Water Process Engineering**, v. 43, n. June, 2021.

MARTIN, N. H. et al. The evolving role of coliforms as indicators of unhygienic processing conditions in dairy foods. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1–8, 2016.

MUKHOPADHYAY, A.; DUTTAGUPTA, S.; MUKHERJEE, A. Emerging organic contaminants in global community drinking water sources and supply: A review of occurrence, processes and remediation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 3, 2022.

NASCIMENTO, I. S.; SANTOS, M. DE O.; PRATA, V. DO C. DESSALINIZADOR DEBAIXO CUSTO POR OSMOSE REVERSA UTILIZANDO ENERGIA RENOVÁVEL PARA POÇOS ARTESIANOS (Dessalinização de água de poços artesianos). **Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)**, v. 2, n. 1, p. 715–718, 2020.

NORONHA, B. M. S. Proteção de águas subterrâneas transfronteiriças e o caso aquífero Guarani. **Revista de Direito Ambiental**, v. 82, 2016.

NURLIYANA, M. R. et al. The Detection Method of Escherichia coli in Water Resources: A Review. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 995, n. 1, 2018.

OLIVEIRA, M. E. DE. **ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM ZONAS RURAIS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE CERRO LARGO/RS**.2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo/RS, , 2021.

OLIVEIRA, P. T. DE; RAMIRES, I. Análise Da Qualidade Das Águas De Poços Rasos No Assentamento Itamarati Em Ponta Porã, Mato Grosso Do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 88–114, 2019.

PINTANEL, S. R.; CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N. Análise da correlação entre os indicadores de saneamento básico e as doenças de veiculação hídrica em municípios do sul do Rio Grande do Sul Correlation. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 2, p. 41–52, 2021.

RIOS, I. H. R.; RABELO, J. L. Estudos de Caso e Notas Estudo do risco de contaminação de aquíferos de sub-bacias baianas Study of the risk of contamination of aquifers in Bahia sub-basins. **Águas Subterrâneas**, v. 35, p. 1–22, 2021.

SANTIAGO, R. C. V. et al. Litogeoquímica e geocronologia dos ortognaisses migmatíticos do Domo de Itabaiana, Sergipe: uma suíte do tipo tonalito, trondhjemitó e granodiorito? **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 4, p. 81, 2018.

SANTOS, A. S. D. DOS et al. Águas subterrâneas: poço tubular. **Journal of Business**, v. 2, n. 3, p. 2072–2083, 2020.

SCHREINER-MCGRAW, A. P.; AJAMI, H. Delayed response of groundwater to multi-year meteorological droughts in the absence of anthropogenic management. **Journal of Hydrology**, v. 603, n. PB, p. 126917, 2021.

SERGIPE. **PLANO MUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO (PMAE) DE ITABAIANA**. Prefeitura Municipal de Itabaiana, 2015.

SILVA, A. D. S. **QUALIDADE DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO NA ZONA RURAL DE SANTA RITA – PB E PROPOSTAS DE MELHORIA**2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2019.

SILVA, FLAVIA PEREIRA DA; QUIRINO, JONATAS MOTTA. Dessalinização Por Osmose Reversa. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 2, p. 16–32, 2020.

SILVA, A. B. DA et al. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA UTILIZADA PARA CONSUMO EM POÇOS ARTESIANOS NA CIDADE DE REMIGIO-PB. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 109–118, 2017.

SILVA, N. S. DA; GONÇALVES, M. F.; FRIAES, E. P. P. Potabilidade da água em escolas municipais de Capanema-PA: Uma proposta de melhoria com sistema simplificado de tratamento. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, 2022.

SILVA JUNIOR, A. B. DA et al. Análises físico-químicas e microbiológicas de água de poços utilizada na produção alimentícia em um complexo turístico do Estado do Ceará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021.

SIMENSATO, L. A.; BUENO, S. M. IMPORTANCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Revista Científica**, v. 1, 2019.

SIQUEIRA, C. G. DE; LIMA, T. M.; SANTOS, M. DOS. Potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano. **Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnica**, p. 1–9, 2022.

SOARES, I. A. et al. QUALIDADE TOXICOLÓGICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS DO MUNICÍPIO DE REALEZA - PARANÁ. **Acta Elit Salutis- AES** –, v. 6, p. 1–12, 2022.

SOUZA, R. R.; SANTOS, M. M. C. DOS. Caixa D'Água Limpa: Uma Alternativa Para Garantia De Saúde Pública. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 96–113, 2019.

STRADIOTO, M. R.; TERAMOTO, E. H.; CHANG, H. K. Statistical analysis of hydrochemistry and isotopic characterization of groundwater from the parecis basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 26, p. 1–15, 2021.

TERIN, U. C. et al. Evaluation of a multi-barrier household system as an alternative to surface water treatment with microbiological risks. **Environmental Technology**, p. 1–13, 2021.

VAL, A. L. et al. Water Quality In Brazil. In: **Water quality in the Americas: Risks and opportunities**. Mexico: The Inter-American Network of Academies of Sciences IANAS, 2019. p. 385–405.

VARGAS, T. F. et al. Decay of free residual chlorine in wellswater of northern Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 13, n. 7, p. 1–13, 2021.

VASCONCELOS, M. B. O que são poços? um panorama das terminologias utilizadas para captações de águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 44, 2017.

VITÓ, C. V. G. et al. Avaliação Da Qualidade Da Água: Determinação Dos Possíveis Contaminantes Da Água De Poços Artesianos Na Região Noroeste Fluminense. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 7, n. 2, p. 59, 2016.

VITOR, G. A. et al. Saúde e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com as doenças de veiculação

hídrica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021.

WANG, Y.; ZHENG, C.; MA, R. Review: Safe and sustainable groundwater supply in China. **Hydrogeology Journal**, v. 26, n. 5, p. 1301–1324, 2018.

WHO. **Guidelines for Drinking- Water Quality**. 4. ed. [s.l: s.n.]. v. 55

XIAO, R. et al. Inactivation of pathogenic microorganisms by sulfate radical: Present and future. **Chemical Engineering Journal**, v. 371, n. December 2018, p. 222–232, 2019.

APÊNDICES

Figura Suplementar 1 - Poços artesianos impossibilitados da realização da coleta das amostras de água na zona rural do município de Itabaiana, Sergipe

a. poço desativado



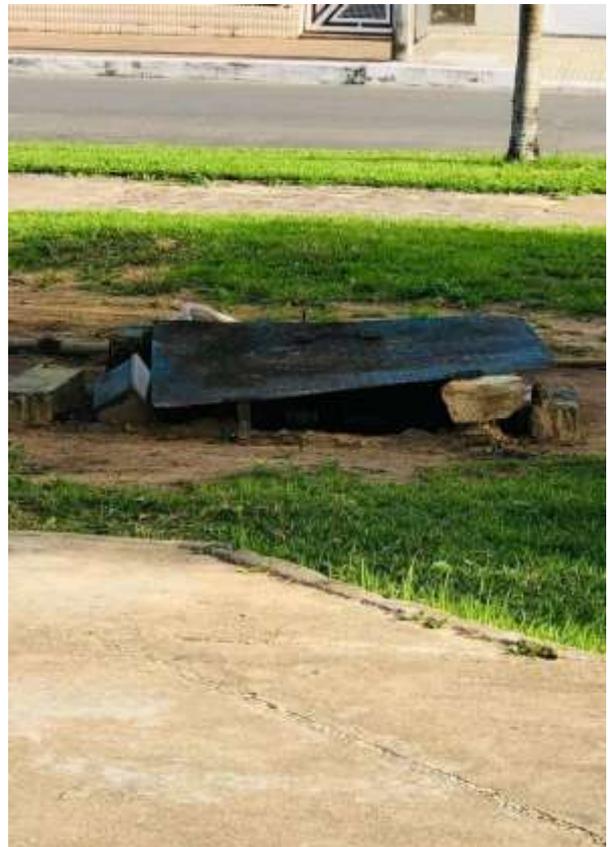
b. poço destinado para irrigação



c. poço desativado



d. poço destinado para irrigação



Fonte: Autoria Própria (2023).

Tabela Suplementar 1 - Medias e intervalo de Confiança a 95% dos poços referentes às análises físico-químicas

Poço/Intervalo de Confiança a 95%	Temperatura (20-30°C)	pH (6-9,5)	Alcalinidade (300 mg L⁻¹)	Dureza (300mg L⁻¹)	Condutividade (10-100 µS.cm⁻¹)	Cloreto (250 mg L⁻¹)	Cloro Residual (0,5-2 mg L⁻¹)
Água Branca	30°C	7,0	325,49±3,38 mg L ⁻¹	356,9±2,53 mg L ⁻¹	1376,67±33,96 µS.cm ⁻¹	466,68±1,64 mg L ⁻¹	-
Bom Jardim	25°C	6,0	86,27±4,15 mg L ⁻¹	22,74±4,99 mg L ⁻¹	473,67±50,35 µS.cm ⁻¹	130,21±2,61 mg L ⁻¹	0,00 mg L ⁻¹
Caraíbas	26°C	7,0	251,77±4,15 mg L ⁻¹	224,55±4,99 mg L ⁻¹	1118,00±8,04 µS.cm ⁻¹	355,19±1,81 mg L ⁻¹	0,064 mg L ⁻¹
Pé do Veado	26°C	7,0	455,99±0,72 mg L ⁻¹	581,76±5,76 mg L ⁻¹	1962,67±4,42 µS.cm ⁻¹	715,17±3,50 mg L ⁻¹	0,00 mg L ⁻¹
Rio das Pedras	29°C	6,0	87,06±0,00 mg L ⁻¹	87,17±2,88 mg L ⁻¹	344,33±25,87 µS.cm ⁻¹	97,74±0,50 mg L ⁻¹	-
Roncador	23°C	6,0	2,35±0,00 mg L ⁻¹	2,84±0,00 mg L ⁻¹	53,77±9,53 µS.cm ⁻¹	4,80±1,18 mg L ⁻¹	0,00 mg L ⁻¹
Serra	24°C	7,0	125,49±3,38 mg L ⁻¹	108,96±2,88 mg L ⁻¹	416,66±9,01 µS.cm ⁻¹	103,54±2,01 mg L ⁻¹	0,00 mg L ⁻¹
Terra Dura	25°C	7,0	317,67±4,12 mg L ⁻¹	386,58±0,00 mg L ⁻¹	1037,00±38,00 µS.cm ⁻¹	289,49±1,34 mg L ⁻¹	0,00 mg L ⁻¹
Terra Vermelha	25°C	7,0	279,22±3,38 mg L ⁻¹	270,03±4,99 mg L ⁻¹	1076,67±15,94 µS.cm ⁻¹	296,76±1,76 mg L ⁻¹	-

Fonte: Autoria Própria (2023).