



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO DE MORAIS VIEIRA

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE
DE SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA DE ABASTECIMENTO DE
CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS EM RUSSAS-CE**

RUSSAS
2023

LEONARDO DE MORAIS VIEIRA

MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DE
SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA DE ABASTECIMENTO DE CONDOMÍNIOS
RESIDENCIAIS EM RUSSAS-CE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Daniela Lima
Machado da Silva.

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V716m Vieira, Leonardo de Moraes.

Monitoramento e avaliação da qualidade da água proveniente de solução alternativa coletiva de abastecimento de condomínios residenciais em Russas-CE / Leonardo de Moraes Vieira. – 2023.
75 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Civil, Russas, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Daniela Lima Machado da Silva.

1. Qualidade da água. 2. Semiárido Brasileiro. 3. Padrão de Potabilidade. 4. Resolução CONAMA nº 396/2008. I. Título.

CDD 620

LEONARDO DE MORAIS VIEIRA

MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DE
SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA DE ABASTECIMENTO DE CONDOMÍNIOS
RESIDENCIAIS EM RUSSAS-CE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: 06/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Daniela Lima Machado da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Paulo Henrique Roberto Moura (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Thiago de Sá Sena (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha avó (*in memoriam*), pela sua coragem
e amor.

AGRADECIMENTOS

À comunidade acadêmica da UFC pelo suporte e apoio durante todo o período de curso.

À minha orientadora, Prof^a Daniela Lima Machado da Silva, por sua dedicação e prontidão na orientação desse trabalho, mas também no decorrer da graduação.

Aos membros da banca examinadora pelo tempo despendido e por suas contribuições para melhoria e aprimoramento do presente estudo.

Agradeço a minha família e amigos por estarem presentes durante minha trajetória acadêmica e pessoal, sem os quais não poderia superar determinados desafios no decorrer desses anos.

À Michelle Guerra da assistência estudantil por seu trabalho exemplar, direcionamento e acolhimento em situações de dificuldade.

“A água é a causa material de tudo, pois a água é tudo e tudo retorna à água.”

Tales de Mileto

RESUMO

O Vale do Jaguaribe, uma região hidrologicamente excepcional no Ceará, possui maior volume hídrico subterrâneo devido ao domínio sedimentar, bem como acesso aos maiores cursos d'água do Estado. Apesar disso, problemas de potabilidade persistem em alguns sistemas de abastecimento de água na região, em desacordo com as obrigações estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Nesta pesquisa, realizada na sede do município de Russas - CE, foi monitorada a água proveniente de uma Solução Alternativa Coletiva (SAC). Foram, então, analisados nove parâmetros de acordo com a legislação vigente. Os resultados mostraram que cinco parâmetros estavam em desconformidade com os padrões de potabilidade, incluindo sólidos totais dissolvidos, cloretos, dureza total, coliformes totais e *E. Coli*. Esses problemas também foram identificados em pesquisas bibliográficas em cidades vizinhas, como Morada Nova e Itaiçaba. Isso destaca a falta de vigilância na qualidade da água e a presença de contaminação na água distribuída pela solução alternativa durante o período analisado.

Palavras-chave: qualidade da água; semiárido brasileiro; padrão de potabilidade; resolução conama nº 396/2008.

ABSTRACT

The Jaguaribe Valley, a hydrologically exceptional region in Ceará, has a higher volume of groundwater due to its sedimentary domain and the access to the largest watercourses in the State. However, potability issues persist in some water supply systems in the region, contrary to the obligations established by Ordinance GM/MS nº 888/2021. In this research conducted in the municipality of Russas - CE, an alternative collective water supply solution was monitored. Nine parameters were analyzed in accordance with current legislation. The results showed that five parameters did not comply with drinking water standards, including total dissolved solids, chlorides, total hardness, total coliforms, and *E. coli*. These problems were also identified in bibliographic research in neighboring cities such as Morada Nova and Itaiçaba. This highlights the lack of water quality surveillance and the presence of contamination in the water distributed by the alternative solution during the analyzed period.

Keywords: water quality; brazilian semiarid; potability standard; conama resolution 396/2008.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Atribuições de vigilância da qualidade da água para consumo humano..... | 23 |
| Figura 2 | – Percurso intermunicipal do Riacho Araibu..... | 24 |
| Figura 3 | – Dados pluviométricos do município de Russas no Posto Russas em 2022.... | 26 |
| Figura 4 | – Aquíferos presentes na região do Baixo Jaguaribe..... | 27 |
| Figura 5 | – Perfil dos aquíferos na região do Baixo e Médio Jaguaribe..... | 28 |
| Figura 6 | – Distribuição dos poços na região do Baixo e Médio Jaguaribe..... | 28 |
| Figura 7 | – Somatório de vazões por tipo de aquífero no município de Russas..... | 29 |
| Figura 8 | – Perda de água de um corpo hídrico superficial para um aquífero..... | 32 |
| Figura 9 | – Programa metodológico da pesquisa..... | 36 |
| Figura 10 | – Município de Russas-CE..... | 37 |
| Figura 11 | – Área de estudo e seu entorno..... | 37 |
| Figura 12 | – Fluxograma do plano de monitoramento..... | 40 |
| Figura 13 | – Substrato cromogênico..... | 42 |
| Figura 14 | – Amostras microbiológicas com adição do substrato cromogênico..... | 43 |
| Figura 15 | – Estufa bacteriológica..... | 43 |
| Figura 16 | – Coloração amarela indicando positivo para CT..... | 43 |
| Figura 17 | – COLItest e reagente de kovacs..... | 45 |
| Figura 18 | – Aplicação do reagente de Kovacs..... | 45 |
| Figura 19 | – Anel de coloração rósea, indicando positivo para <i>E. Coli</i> | 45 |
| Figura 20 | – Recipientes com as amostras físico-químicas..... | 46 |
| Figura 21 | – Turbidímetro Digital TU430..... | 46 |
| Figura 22 | – Soluções padrão de 0, 20, 100 e 800 NTU..... | 46 |
| Figura 23 | – Solução padrão de 146,9 μ S/cm..... | 47 |
| Figura 24 | – Lavagem da célula do condutivímetro com água destilada..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 25 – Condutivímetro após calibração..... | 47 |
| Figura 26 – Medição das amostras..... | 48 |
| Figura 27 – Amostras medidas e identificadas..... | 48 |
| Figura 28 – Medição da condutividade..... | 48 |
| Figura 29 – Solução tampão com pH 4 e 7..... | 50 |
| Figura 30 – pHmetro de bancada calibrado..... | 50 |
| Figura 31 – Realização da medição do pH das amostras..... | 50 |
| Figura 32 – Agitador magnético utilizado na titulação de alcalinidade..... | 51 |
| Figura 33 – Titulante e indicador utilizado para análise de cloretos..... | 53 |
| Figura 34 – Medição do indicador cromato de potássio..... | 53 |
| Figura 35 – Preenchimento da bureta com o titulante nitrato de prata..... | 53 |
| Figura 36 – Início da titulação de cloretos..... | 53 |
| Figura 37 – Momento da viragem e final da titulação de cloretos..... | 53 |
| Figura 38 – Comparação visual do ponto de viragem para cloretos..... | 53 |
| Figura 39 – Reagente e titulante utilizados para análise da dureza total..... | 55 |
| Figura 40 – Amostra após aplicação do indicador preto de ericromo T..... | 55 |
| Figura 41 – Preenchimento da bureta com o titulante EDTA..... | 55 |
| Figura 42 – Início da titulação para dureza total..... | 55 |
| Figura 43 – Momento da viragem e final da titulação de dureza total..... | 55 |
| Figura 44 – Comparação visual do ponto de viragem para dureza total..... | 55 |
| Figura 45 – Trecho adjacente ao ponto de captação da SAC..... | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Distribuição da água no planeta..... | 30 |
| Tabela 2 – Resultado dos parâmetros físico-químicos..... | 57 |
| Tabela 3 – Resultado dos parâmetros químicos..... | 61 |
| Tabela 4 – Resultado dos parâmetros microbiológicas..... | 64 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1 – Expressão utilizada para determinação de AT em mg CaCO ₃ /L..... | 51 |
| Equação 2 – Expressão utilizada para determinação de Cl ⁻ em mg Cl ⁻ /L..... | 54 |
| Equação 3 – Expressão utilizada para determinação de DT em mg CaCO ₃ /L..... | 56 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| UE | União Europeia |
| ANA | Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico |
| FUNASA | Fundação Nacional da Saúde |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| MS | Ministério da Saúde do Brasil |
| IPECE | Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| SBG | Serviço Geológico do Brasil |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| CAGECE | Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará |
| COGERH | Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| CWSS | <i>Community Water Supply Study</i> |
| SAC | Solução Alternativa Coletiva de Abastecimento de Água |
| SAA | Sistema de Abastecimento de Água |
| CE | Condutividade Elétrica |
| STD | Sólidos Totais Dissolvidos |
| CT | Coliformes Totais |
| NMP | Número Mais Provável |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1 | Contextualização..... | 17 |
| 1.2 | Panorama atual..... | 17 |
| 1.3 | Problemática..... | 18 |
| 1.4 | Justificativa..... | 20 |
| 1.5 | Objetivo geral..... | 20 |
| 1.6 | Objetivos específicos..... | 20 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 21 |
| 2.1 | Saneamento básico..... | 21 |
| 2.2 | Procedimentos de vigilância da qualidade da água..... | 22 |
| 2.3 | Recursos Hídricos no Vale do Jaguaribe..... | 23 |
| 2.4 | Hidrogeologia do Vale do Jaguaribe..... | 26 |
| 2.5 | Águas subterrâneas..... | 30 |
| 2.6 | Qualidade das águas..... | 33 |
| 3 | MATERIAS E MÉTODOS..... | 35 |
| 3.1 | Metodologia de pesquisa..... | 35 |
| 3.2 | Descrição da área de estudo..... | 36 |
| 3.3 | Avaliação sanitária da zona de captação..... | 38 |
| 3.4 | Avaliação sanitária da SAC..... | 38 |
| 3.5 | Plano de monitoramento..... | 39 |
| 3.6 | Coleta de amostras..... | 40 |
| 3.7 | Parâmetros microbiológicos..... | 41 |
| 3.7.1 | <i>Coliformes totais</i>..... | 41 |
| 3.7.2 | <i>Escherichia Coli</i>..... | 44 |
| 3.8 | Parâmetros físico-químicos..... | 45 |
| 3.8.1 | <i>Turbidez</i>..... | 45 |
| 3.8.2 | <i>Condutividade elétrica</i>..... | 47 |
| 3.8.3 | <i>Sólidos totais dissolvidos</i>..... | 48 |
| 3.9 | Parâmetros químicos..... | 48 |
| 3.9.1 | <i>pH</i>..... | 49 |
| 3.9.2 | <i>Alcalinidade total</i>..... | 50 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.9.3 | <i>Cloretos</i> | 52 |
| 3.9.4 | <i>Dureza total</i> | 54 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 57 |
| 4.1 | Parâmetros físico-químicos | 57 |
| 4.1.1 | <i>Turbidez</i> | 58 |
| 4.1.2 | <i>Condutividade elétrica</i> | 59 |
| 4.1.3 | <i>Sólidos totais dissolvidos</i> | 59 |
| 4.2 | Parâmetros químicos | 60 |
| 4.2.1 | <i>pH</i> | 61 |
| 4.2.2 | <i>Alcalinidade total</i> | 62 |
| 4.2.3 | <i>Cloretos</i> | 62 |
| 4.2.4 | <i>Dureza total</i> | 63 |
| 4.3 | Parâmetros microbiológicos | 64 |
| 4.3.1 | <i>Coliformes totais</i> | 65 |
| 4.3.2 | <i>Escherichia Coli</i> | 66 |
| 4.4 | Avaliação sanitária da zona de captação | 66 |
| 4.5 | Avaliação sanitária das instalações da SAC | 67 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 68 |
| 5.1 | Avaliação dos parâmetros | 68 |
| 5.2 | Padrão de potabilidade | 69 |
| 5.3 | Identificação do uso preponderante da água | 69 |
| 5.4 | Ações para melhoria da zona de captação e instalações da SAC | 69 |
| 5.5 | Medidas corretivas para adequação da água para consumo | 70 |
| | REFERÊNCIAS | 71 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O abastecimento de água, inserido dentro dos serviços públicos de saneamento básico, é um serviço indispensável para o desenvolvimento das sociedades ao longo da história. O fornecimento adequado de água potável à população impacta diretamente os índices de morbidade por agravos de veiculação hídrica, mortalidade infantil, expectativa de vida e Índice de Desenvolvimento Humano (HELLER, 1997).

Ainda assim, Libânio (2005) destaca que é importante observar que, para influenciar positivamente os indicadores mencionados, não basta apenas fornecer água em termos de cobertura do serviço, mas principalmente em termos de qualidade da água distribuída. Sendo assim, o autor ressalta que a qualidade da água distribuída está mais bem relacionada aos indicadores de saúde e desenvolvimento.

Nesse contexto, a Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, afirma em seu artigo 2º, inciso III, que o abastecimento de água deve ser prestado de forma adequada à saúde pública, à preservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente. Isso está alinhado ao princípio das múltiplas barreiras, que abrange desde a proteção das fontes de abastecimento contra contaminações antropogênicas e/ou naturais, até a integridade do tratamento e do sistema de distribuição de água para consumo humano.

É válido observar que desde 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas reconhece o acesso à água em condições de qualidade adequada como um direito humano essencial para o exercício de todos os direitos humanos, conforme estabelecido na Resolução nº 64/292, de 28 de julho de 2010.

1.2 Panorama atual

Como mencionado anteriormente, o saneamento é entendido como um fator importante para o desenvolvimento das sociedades, desde civilizações antigas como Grécia, Egito e China. No entanto, foi somente a partir de 1854 que surgiram os primeiros estudos acadêmicos buscando relacionar fatores do meio físico com a incidência de agravos à saúde da população. Destacam-se o trabalho do epidemiologista John Snow sobre um surto de cólera em Londres em 1855 e os estudos microbiológicos de Louis Pasteur em 1880

(HELLER, 1997).

Ainda segundo o autor, tais descobertas levaram à elaboração dos primeiros padrões de qualidade da água a partir de 1900. No entanto, foi somente a partir de 1980 que o conhecimento científico foi aprofundado nessa área, alterando o consenso internacional sobre a prioridade das intervenções médicas em detrimento do abastecimento de água tratada.

Nessa mesma época, surgiram estudos apontando o fato de que diversos sistemas de abastecimento de água não cumpriam com as exigências mínimas estipuladas para a água destinada ao consumo humano, como o *Community Water Supply Study* em 1970 nos Estados Unidos. Dessa forma, foi apenas cerca de 50 anos atrás que foi instituída a obrigatoriedade do cumprimento dos padrões de qualidade e estabelecidos os programas de fiscalização e vigilância da água destinada ao consumo humano.

Atualmente, os países desenvolvidos apresentam altas taxas de cobertura de abastecimento de água, com as normas abordando exigências quanto à integridade dos sistemas de distribuição de água, bem como à utilização de produtos, substâncias e materiais utilizados em aplicações de água potável, *European Drinking Water – EDW* (2018).

A partir desse desenvolvimento histórico, surgiram normas que estipulam padrões de qualidade da água para abastecimento em diversos países, organizações internacionais e blocos econômicos, bem como a obrigatoriedade de monitoramento e procedimentos de fiscalização da distribuição de água. Como exemplos dessas normas, podem ser citadas:

- a) Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021;
- b) *Canadian Drinking Water Guidelines* (Diretrizes Canadenses para Água Potável);
- c) *Code de La Sante Publique Français* (Código de Saúde Pública Francês);
- d) Diretrizes para Qualidade da Água Potável da Organização Mundial da Saúde;
- e) *European Union Directive* (Diretiva da União Europeia) nº 2020/2184, de 16 de dezembro de 2020.

1.3 Problemática

Diferentemente dos países desenvolvidos, os países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos apresentam maiores dificuldades em alcançar a universalização do acesso, a sustentabilidade econômica, a regularidade e a qualidade dos serviços de saneamento. Um exemplo disso é o Brasil, onde atualmente 35 milhões de pessoas não têm acesso a água tratada e 100 milhões não têm acesso à coleta de esgoto. Vale salientar ainda que 50% do

esgoto coletado não recebe tratamento, que implica em pelo menos 13.250.000 m³ de esgoto *in natura* despejados na natureza diariamente, segundo o Instituto Trata Brasil – ITB (2022).

Esse cenário leva os indivíduos não-assistidos pelo Estado a buscarem fontes alternativas de água, por vezes inadequadas, bem como a destinar seus efluentes domésticos por meio de fossas sépticas, fossas negras ou despejo do esgoto bruto em córregos e lagos. Essa situação gera riscos à saúde, degradação ambiental e poluição de reservas hídricas superficiais e subterrâneas.

No Vale do Jaguaribe, região do presente estudo, Almeida *et al.* (2021) discorre sobre o estado de degradação das reservas subterrâneas devido à superexploração dos aquíferos, bem como à contaminação por agrotóxicos. O autor ainda aborda a ausência de medidas de gestão por parte do Governo do Estado do Ceará visando a proteção dessas importantes reservas hídricas cearenses representadas pelos aquíferos Jandaíra e Açú.

Zoby (2008) corrobora essa perspectiva ao afirmar que, em geral, não existem estudos sistemáticos sobre os aquíferos no Brasil, sendo os principais trabalhos realizados nas universidades e alguns produzidos por secretarias estaduais.

Outro ponto relevante é a deficiência da vigilância da qualidade da água, apontada por estudos recentes na região do Baixo Jaguaribe. Sousa (2021) realizou um estudo para avaliar a água distribuída por sistema de abastecimento na sede do município de Morada Nova-CE, localizada a 55 km do município de Russas-CE. A autora concluiu, a partir do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água tratada, que havia problemas relacionados aos valores mínimos de cloro residual livre e à presença de coliformes totais.

Outro estudo, também realizado no Baixo Jaguaribe, foi conduzido por Silva (2021) com o objetivo de analisar a qualidade da água distribuída para o distrito de Alto Ferrão, no município de Itaiçaba-CE, localizado a 37 km de Russas. O estudo foi realizado em uma Solução Alternativa Coletiva que utilizava captação de água subterrânea. Ao final, o autor concluiu que os parâmetros de cor, turbidez e coliformes totais estavam em desacordo com a legislação vigente para água potável.

No caso particular das Soluções Coletivas Alternativas, vale destacar um agravante em relação à fiscalização de seu funcionamento quando comparado aos Sistemas de Abastecimento. Isso se deve à regulação tardia dessas soluções, que ocorreu apenas cerca de 20 anos atrás, por meio da Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000. Esse fato envolve um processo de implementação das práticas de fiscalização dessas fontes de abastecimento.

1.4 Justificativa

Assim como os estudos de Sousa (2021) e Silva (2021) fizeram, é necessário dar continuidade ao diagnóstico da integridade do serviço de abastecimento de água no Baixo Jaguaribe. Esse diagnóstico é indispensável para embasar medidas corretivas e assegurar condições adequadas de saúde à população, além de promover o desenvolvimento regional.

Além disso, é imprescindível a avaliação dos riscos sanitários nos mananciais de abastecimento humano, pois esses riscos têm origens diversas e podem decorrer da ausência de coleta de esgoto, operação inadequada de poços e de outras formas pontuais e difusas de poluição, resultando em contaminação dos aquíferos e degradação das águas subterrâneas (HELLER, 2006). Essas reservas são de extrema importância no contexto cearense, onde há escassez de reservas hídricas superficiais e subterrâneas devido às altas taxas de evapotranspiração, baixas taxas pluviométricas e predominância de aquíferos fraturados com baixos índices de produtividade.

1.5 Objetivo geral

Realizar monitoramento e avaliação da qualidade da água de solução alternativa coletiva de abastecimento de condomínios residenciais na sede do município de Russas-CE.

1.6 Objetivos específicos

- a) realizar análises laboratoriais de parâmetros microbiológicos e físico-químicos;
- b) analisar a potabilidade da água de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021;
- c) identificar o uso preponderante da água de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008;
- d) sugerir ações necessárias para melhoria da zona de captação e instalações da SAC;
- e) indicar as medidas corretivas necessárias para alcançar potabilidade da água analisada;
- f) elencar possíveis causas para a inadequação dos parâmetros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico apresenta informações, dados e definições fundamentais para a compreensão do presente trabalho. Diante disso, serão apresentados os resultados da pesquisa bibliográfica realizada para fundamentar a proposta do trabalho, bem como para apontar as áreas que carecem de mais pesquisa. Portanto, os dois primeiros subtópicos abordam a situação do saneamento básico e os procedimentos de vigilância da qualidade da água. Os dois subtópicos seguintes englobam os recursos hídricos e a hidrogeologia do Vale do Jaguaribe. E, nos dois últimos subtópicos, discute-se o cenário das águas subterrâneas e os parâmetros de qualidade da água.

2.1 Saneamento básico

De maneira a situar o que será discorrido, é preciso apresentar o conceito de saneamento que será utilizado como base no presente trabalho. Existem diferentes definições adotadas por entidades, tais como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização das Nações Unidas (ONU). Porém, também há definições nacionais que possibilitam delimitar o campo de ação dos serviços e das estruturas que se fazem necessárias para as condições sanitárias adequadas. Assim, a Lei Federal nº 11.445/2007 (Política Nacional do Saneamento Básico) estabelece as diretrizes nacionais para saneamento ambiental no Brasil e será usada como referência para discussão no presente texto.

O art. 3, parágrafo único, I da Lei nº 11.445/2007 considera o saneamento como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável;
- b) esgotamento sanitário;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, dentre outros.

Serviços esses que devem ser prestados segundo os princípios de universalização de acesso, eficiência, sustentabilidade econômica, qualidade, regularidade, dentre outros (BRASIL, 2007). A presente lei representa um marco significativo, porém não reflete a realidade nacional. Dessa forma, faz-se substancial entender o cenário atual, bem como o histórico do setor de saneamento, tanto nacional quanto internacionalmente.

É perceptível, através do exposto, que a identificação do saneamento como instrumento necessário ao bem-estar humano é consenso comum e surgiu há bastante tempo.

Todavia, essa identificação nem sempre foi sinônimo de um entendimento aprofundado sobre o assunto (HELLER, 1997)

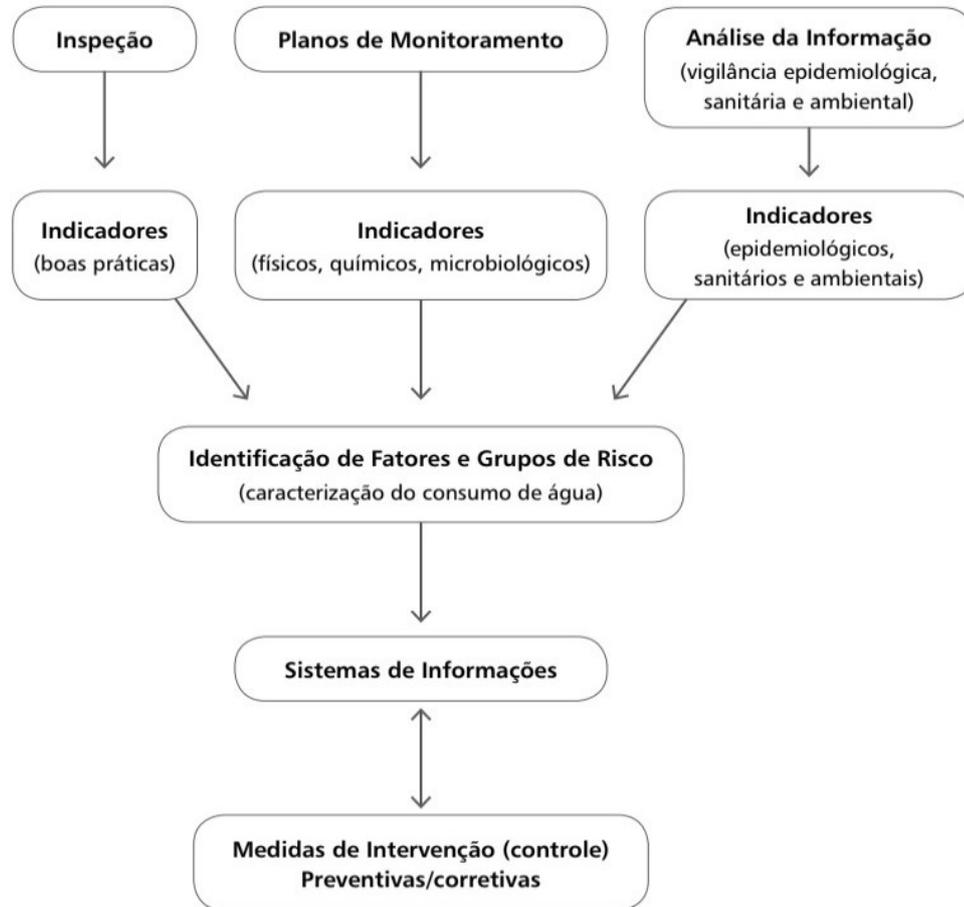
Observando a trajetória do saneamento, é visível o quão recentes foram esses avanços. Tais avanços, sejam científicos ou legislativos, levaram a um processo de implementação que depende das condições econômicas, tecnológicas e políticas de cada país. No Brasil, parte da população carece, inclusive, de serviços básicos de saneamento, como abastecimento de água potável e esgotamento sanitário adequado (SNIS, 2018). Dessa forma, fica perceptível que se deve continuar buscando fomentar a melhoria dos serviços de saneamento.

2.2 Procedimentos de vigilância da qualidade da água

A Portaria GM/MS nº 888/2021 determina que toda água destinada ao consumo humano, que seja distribuída coletivamente por sistema de abastecimento, solução alternativa ou carro-pipa, deve estar sujeita ao controle e vigilância da qualidade da água. No caso particular da solução alternativa individual, a portaria não exige a realização de procedimentos de controle por parte do responsável, mas determina igualmente a realização dos procedimentos de vigilância por parte das Secretarias de Saúde dos Municípios e do Distrito Federal.

Vale destacar que a amplitude das atribuições de vigilância e controle da qualidade da água definida na legislação brasileira é abrangente. Essas atribuições são diversas e compreendem desde a solicitação de outorga por parte do operador até o tratamento de dados em sistema de informação por parte da autoridade de saúde pública. Nessa direção, a Figura 1 ilustra as atribuições de vigilância da qualidade da água para consumo humano conforme Ministério da Saúde (BRASIL, 2006).

Figura 1 – Atribuições de vigilância da qualidade da água para consumo humano



Fonte: Brasil (2006).

2.3 Recursos Hídricos no Vale do Jaguaribe

De modo a apresentar alguns dos aspectos hidrológicos do município de Russas-CE, é válido discutir tais características em um contexto mais amplo, a fim de visualizar características e desafios comuns, bem como ampliar a fonte de informação sobre sua constituição hidrológica.

Dessa forma, o município de Russas-CE encontra-se na região socioeconômica do Vale do Jaguaribe, localizada no interior do Estado do Ceará. A região compreende os municípios de Alto Santo, Ererê, Iracema, Jaguaratama, Jaguaribara, Jaguaribe, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Pereiro, Potiretama, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. De modo geral, a região tem como principais características as Planícies Ribeirinhas, a Chapada do Apodi, a Planície Litorânea, os Tabuleiros Costeiros e os Sertões (IPECE, 2017).

A região do Vale do Jaguaribe está inserida quase em sua totalidade nas sub-bacias

do Médio e Baixo Jaguaribe. Em particular, o município de Russas está inserido na sub-bacia do Baixo Jaguaribe. Já em termos de recursos hídricos superficiais, o Ceará possui como principais rios o Acaraú, Banabuiú, Jaguaribe e Salgado. O rio Jaguaribe é o principal rio do Estado e sua bacia hidrográfica compreende cerca de 50% do território estadual, de acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2017).

Além disso, o rio Jaguaribe possui cerca de 600 quilômetros de extensão e recebe o rio Banabuiú e o rio Salgado como afluentes. A região do Vale do Jaguaribe tem acesso ao rio Banabuiú e ao rio Jaguaribe, sendo este último o seu principal corpo hídrico superficial que percorre quase toda sua extensão, incluindo o município de Russas. A região ainda conta com o açude Castanhão, localizado no município de Jaguaribara, que foi construído no leito do rio Jaguaribe e é o maior reservatório do estado do Ceará (ANA, 2017).

A área urbana do município de Russas possui, ainda, um afluente do rio Jaguaribe. Este afluente é chamado riacho Araibu e percorre quase toda a extensão do município. Após o município de Russas, o afluente segue em direção aos municípios de Jaguaruana e Itaiçaba, onde encontra o rio Jaguaribe (FIGURA 2). O riacho Araibu é um curso de água natural intermitente que, devido à baixa pluviometria e às grandes taxas de evapotranspiração na região, acumula água somente em pequenos trechos durante os períodos de estiagem, segundo a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH, 2018.

Figura 2 – Percurso intermunicipal do Riacho Araibu



Fonte: SRH (2018).

Por ser um curso de água natural intermitente de menos de dez metros de largura, suas faixas marginais se enquadram como Área de Preservação Permanente (APP), com largura mínima de trinta metros a partir da borda da calha de seu leito regular. Essa determinação é prevista pela Lei Federal nº 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção da

vegetação nativa. No entanto, devido à sua característica intermitente, ocorreu uma ocupação inadequada de suas faixas marginais ao longo do processo de crescimento urbano. Além da ocupação desordenada do solo, o riacho foi destino de entulho e lixo por longos períodos (OLIVEIRA, 2022).

A situação mencionada acima é um problema de degradação ambiental que também afeta a população mais vulnerável que ocupa suas margens. Em anos de grandes precipitações, vários bairros foram afetados pelas cheias do riacho, como o bairro Ipiranga, Vila Gonçalves, Vila Matoso, Alto do Velame e Pitombeira. Atualmente, o riacho Araibu recebe os efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Russas, além de servir como receptor da drenagem urbana, contando com elementos de drenagem em suas margens (OLIVEIRA, 2022).

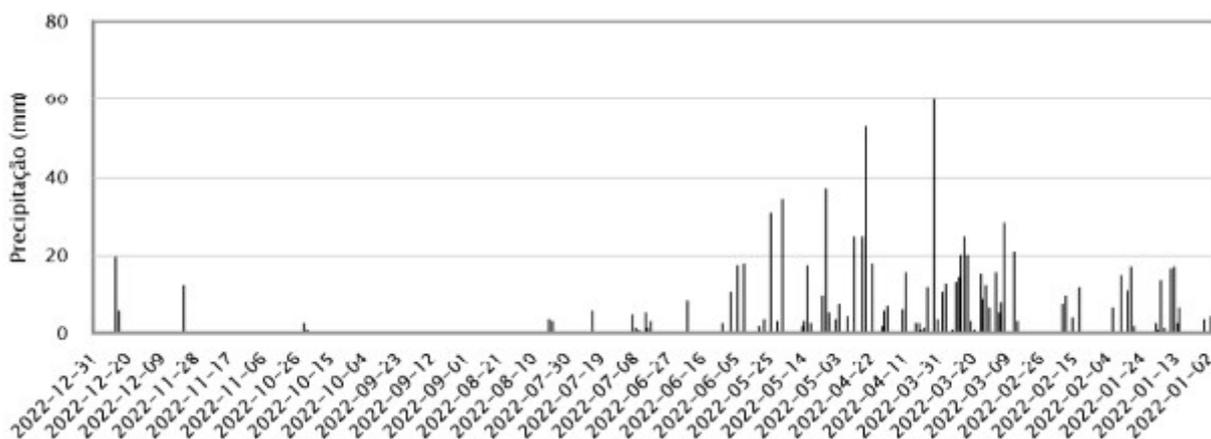
Apesar de todos os problemas mencionados anteriormente, o Plano de Recursos Hídricos do Ceará (2018) prevê a realização de obras de infraestrutura hídrica com o objetivo de possibilitar a perenização do riacho Araibu. Essa iniciativa visa beneficiar as comunidades ribeirinhas dos municípios de Russas, Itaiçaba e Jaguaruana.

Quanto ao clima, de acordo com informações da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2017), o Vale do Jaguaribe é uma região de clima semiárido. O município em estudo pode ser utilizado como exemplo, pois apresenta baixos índices pluviométricos e alta evaporação com uma precipitação média anual de 710,4 mm e uma evapotranspiração média anual de 1892,05 mm. Nesse sentido, a Funceme também apresenta dados que mostram que os demais municípios da região possuem um cenário similar. Nesse contexto, Sousa Filho (2018) destaca que é justamente essa relação entre a taxa de precipitação e a taxa de evapotranspiração que caracteriza a aridez.

O município de Russas possui cinco postos pluviométricos, sendo a Funceme o órgão responsável por eles. Assim como o município, todos os postos estão situados na região hidrográfica do Baixo Jaguaribe e são denominados Posto Capim Grosso, Posto Lagoa Grande, Posto Peixe, Posto Russas e Posto Sítio Timbaúba Macore (FUNCEME, 2023).

A captação de água analisada pelo presente estudo ocorre na região urbana do município. Portanto, na Figura 3 estão apresentados os dados pluviométricos coletados no Posto Russas. Desse modo, é possível perceber que as precipitações se concentram no primeiro semestre do ano. O período de estiagem, por sua vez, se concentra entre os meses de julho e dezembro.

Figura 3 – Dados Pluviométricos do município de Russas no Posto Russas em 2022



Fonte: Funceme (2023).

Nota: ID 127; Posto Russas; Latitude -4.9419166666667; Longitude -37.976722222222; Situação Ativa.

2.4 Hidrogeologia do Vale do Jaguaribe

Para discutir a hidrogeologia do Vale do Jaguaribe, é importante notar que diferentes fatores atuam em conjunto para sua determinação. Dessa forma, a hidrogeologia é influenciada por fatores como topografia, clima e geologia do local.

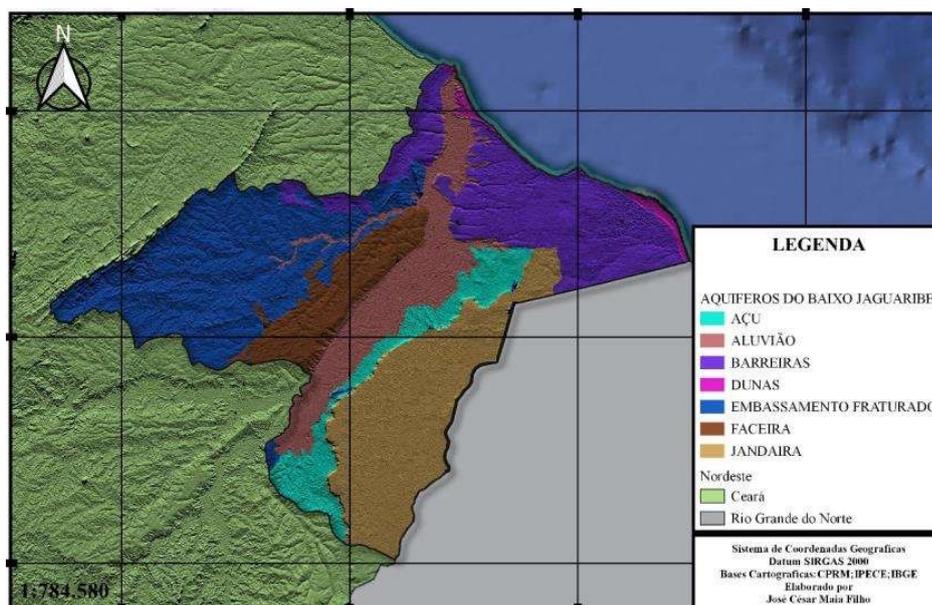
Em relação à geologia, o Estado do Ceará possui a maior parte do seu território, cerca de 75%, constituída por embasamento cristalino. Essa constituição geológica ocasiona a predominância do Aquífero Fraturado, com baixa produtividade e teores excessivos de sais (ALMEIDA; MAIA FILHO; SOUSA, 2021).

Souza Filho (2018) corrobora isso ao afirmar que o Ceará possui escassez de água subterrânea devido à sua constituição predominantemente cristalina. Além disso, o autor aponta a baixa profundidade do solo como uma limitação para o acúmulo de água subterrânea como outra consequência dessa constituição geológica característica.

Entretanto, o Estado do Ceará possui locais de exceção hidrogeológica que possibilitam o armazenamento de um maior volume hídrico subterrâneo por meio dos domínios sedimentares. Esse domínio sedimentar ocorre principalmente na região do Cariri, na região Litorânea e na Chapada do Apodi (SOUZA FILHO, 2018).

Em relação às fontes subterrâneas do Estado, a região do Baixo Jaguaribe se destaca, pois possui cinco sistemas de aquíferos sedimentares, a saber: Dunas, Barreiras, Faceira, Aluvionar, Jandaríra e Açú (FIGURA 4). A área urbana do município de Russas, por sua vez, está situada sobre o aquífero Aluvionar (ALMEIDA; MAIA FILHO; SOUSA, 2021).

Figura 4 – Aquíferos presentes na região do Baixo Jaguaribe



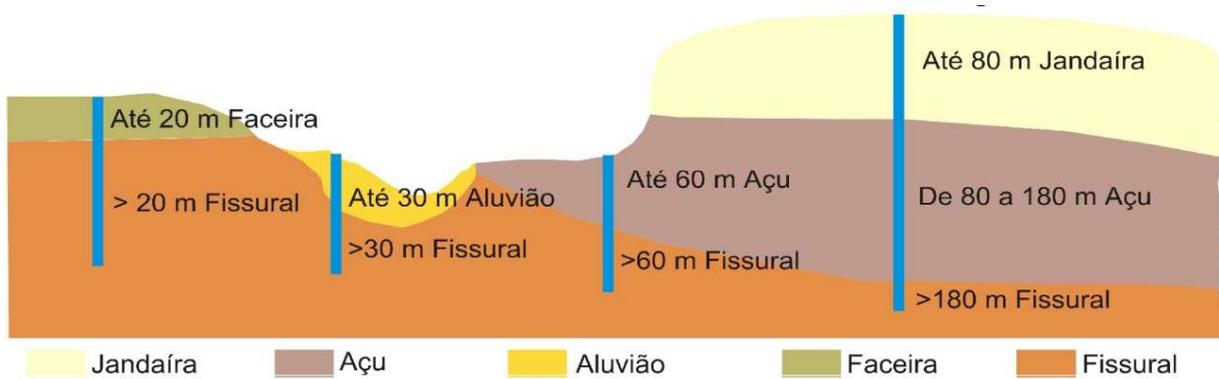
Fonte: Almeida, Maia Filho, Sousa (2021).

O conhecimento técnico a respeito desses aquíferos teve um aprofundamento por volta de 1960, devido às ações do Governo Federal. Nesse período, foram realizadas buscas por combustíveis fósseis na Bacia Potiguar, o que também possibilitou o conhecimento de seus aspectos hidrogeológicos (ANA, 2010).

Silva *et al.* (2007) afirmam que as reservas subterrâneas passaram a ter destaque nesse período. Essas reservas ampliaram a oferta hídrica e possibilitaram seu uso em comunidades rurais e urbanas, bem como no desenvolvimento de atividades agropecuárias e mineradoras. Esse cenário permitiu a diversificação e a expansão das atividades produtivas.

De modo a apresentar as condições atuais dos aquíferos, Morais *et al.* (2005) realizaram um mapeamento e estimativa da disponibilidade das águas subterrâneas em oito municípios do baixo e médio Jaguaribe. Os autores utilizaram um banco de dados cedido pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e da Superintendência de Obras Hídricas (SOHIDRA) sobre 988 poços. Foi utilizada a profundidade dos poços informada no banco de dados para classificar cada poço de acordo com o aquífero que estava sendo explorado e verificar a disponibilidade hídrica de cada um. Na Figura 5 está apresentado o perfil e profundidade de cada aquífero.

Figura 5 – Perfil dos aquíferos na região do Baixo e Médio Jaguaribe

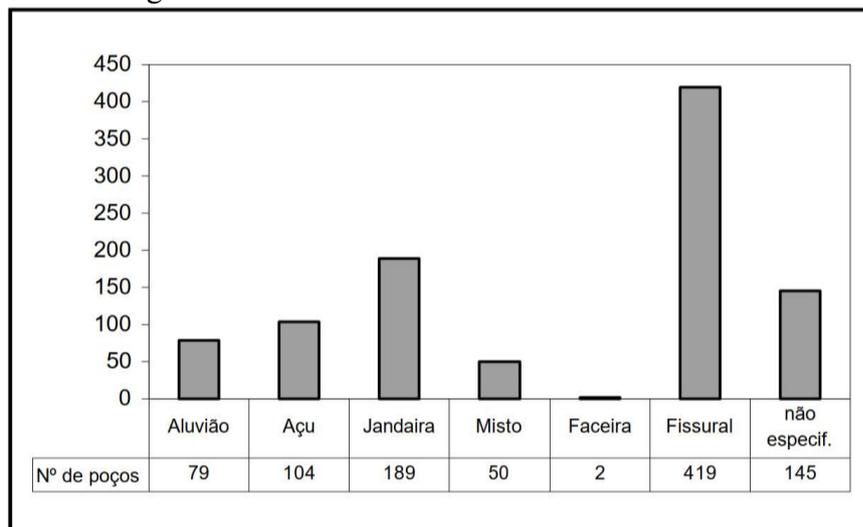


Fonte: Morais *et al.* (2005).

A área urbana de Russas está situada sobre o aquífero aluvionar. Dessa maneira, os poços construídos na referida área estarão localizados no aquífero sedimentar ou no aquífero fissural a depender da profundidade de perfuração, como ilustrado na Figura 5.

Morais *et al.* (2005) informam que a maior quantidade de poços perfurados ocorre em domínio sedimentar quando somado todos os aquíferos da região do Baixo e Médio Jaguaribe. Porém eles também apresentam graficamente a distribuição para cada aquífero em particular, o que também evidencia a importância dos poços em domínio fissural (FIGURA 6).

Figura 6 – Distribuição dos poços por aquífero na região do Baixo e Médio Jaguaribe

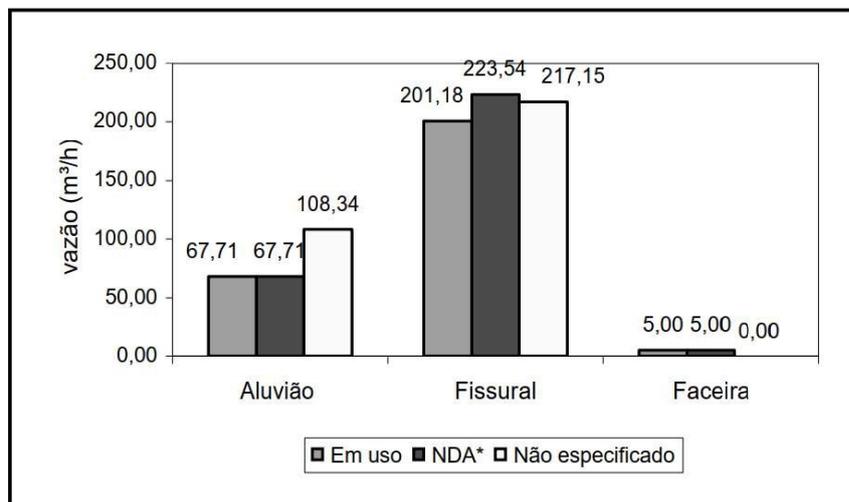


Fonte: Morais *et al.* (2005).

Em termos de disponibilidade hídrica, é válido observar tendência similar entre os demais municípios da região e o município de Russas. Existe um número elevado de poços em situações de abandono, não instalados ou desativados com boas condições de vazão e

disponibilidade hídrica, por vezes superiores as vazões de disponibilidades dos poços ativos (FIGURA 7). Um exemplo disso são os poços em domínio fissural que somam 201, mas que possuem apenas 63 em uso (MORAIS et al., 2005).

Figura 7 – Somatório de vazões por tipo de aquífero no município de Russas



Fonte: Morais *et al.* (2005).

Morais *et al.* (2005) concluíram que o aquífero fissural é o mais explorado, apesar de possuir a menor vazão média em todos municípios, inclusive no município de Russas. Geralmente o aquífero fissural possui níveis altos de sais e não é adequada ao uso humano. Porém é uma importante fonte hídrica e pode ser utilizada para atividades menos restritivas, tais como irrigação ou dessedentação animal.

Nessa perspectiva, mesmo sendo uma área de destaque em águas subterrâneas, os municípios do Vale do Jaguaribe têm seu abastecimento proveniente de mananciais superficiais, representando 73% do total (CAGECE, 2019).

É válido também observar o resultado dos monitoramentos quantitativos na gestão dessas reservas subterrâneas. A COGERH realizou o monitoramento do uso e da recarga dos aquíferos do Vale do Jaguaribe nos anos de 2010 a 2013, através de 40 poços. Como resultado, o referido órgão verificou a redução do nível em 21 poços dos aquíferos Jandaíra, Dunas e Barreiras. Tal fato ocorreu devido à baixa precipitação nos anos de estiagem (pós-2009, com destaque para 2012-2017) e ao aumento da demanda dos aquíferos.

Nesse período de estiagem, mesmo diante do déficit hídrico dos aquíferos, o Governo do Estado do Ceará não adotou nenhuma medida de proteção a esses recursos subterrâneos. Em contrapartida, o Governo do Estado decidiu suspender as outorgas de direito de uso das águas superficiais do Sistema Jaguaribe, Canal do Trabalhador e Eixão das Águas.

Fato que ocasionou aumento da exploração desses aquíferos sedimentares em déficit no Baixo Jaguaribe (ALMEIDA; MAIA FILHO; SOUSA, 2021).

2.5 Águas subterrâneas

Toda atividade que demanda grandes volumes de água, seja para abastecimento humano ou para atividades industriais, necessita preliminarmente do conhecimento das diferentes formas de ocorrência da água na região de interesse. Esse conhecimento permite avaliar as fontes mais adequadas em termos de disponibilidade hídrica, bem como em termos da qualidade exigida para cada uso (HELLER, 2006).

Ao averiguar a distribuição de água entre os principais reservatórios do planeta, é possível perceber, ainda, a característica heterogênea de sua ocorrência, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição de Água no Planeta

| Reservatórios | Porcentagem Total | Porcentagem de Água Doce |
|----------------------|-------------------|--------------------------|
| Oceano | 96.5 | |
| Gelo e neve | 1.8 | 69.6 |
| Água subterrânea | | |
| Doce | 0.76 | 30.1 |
| Salina | 0.93 | |
| Água superficial | | |
| Lagos de água doce | 0.007 | 0.26 |
| Lagos de água salina | 0.006 | |
| Pântanos | 0.0008 | 0.03 |
| Rios | 0.0002 | 0.006 |
| Humidade em solos | 0.0012 | 0.05 |
| Atmosfera | 0.001 | 0.04 |
| Biosfera | 0.0001 | 0.003 |

Fonte: Maidment (1993) *apud* Fitts (2002).

Nota: traduzido pelo o autor.

O volume de água na forma de gelo e na forma de água subterrânea são os dois maiores entre todos os reservatórios de água doce. É válido salientar a importância da água doce subterrânea, pois ela é cerca de 100 vezes mais abundante do que a água doce superficial (FITTS, 2002).

Contudo a abundância de um recurso não é o único fator determinante na escolha de sua exploração. Nesse sentido, conforme o autor, as águas subterrâneas e as águas superficiais são as mais utilizadas, devido à sua acessibilidade, com destaque para as águas superficiais. Ainda no que tange às águas subterrâneas, a maior parte de sua totalidade é composta por águas altas teores de sais, incompatíveis com a maioria dos usos. Isso significa que fontes subterrâneas nem sempre podem ser utilizadas, mesmo quando uma região as apresentar em condições de boa acessibilidade.

Um exemplo da problemática exposta no parágrafo anterior é o Aquífero Jandaíra, que possui boa produtividade, mas apresenta altos níveis de sólidos totais dissolvidos (STD). Dessa forma, a água proveniente do Aquífero Jandaíra não possui uso preponderante para o abastecimento humano, porém é amplamente utilizada na irrigação (OLIVEIRA, 2016).

Através do exposto, é possível perceber que, para a implementação ou continuação do uso das águas subterrâneas, é indispensável o monitoramento dos seus parâmetros de qualidade. Esses parâmetros apresentam valores variáveis e são influenciados pelo regime de precipitações, uso do manancial, presença de fontes de poluição e o tempo de contato com determinadas formações geológicas. Essa variabilidade merece considerável atenção pelo fato de que os corpos hídricos subterrâneos não são visíveis ou facilmente acessíveis (BRASIL, 2006).

Ademais, são necessários programas de gestão para preservação dessas fontes e acompanhamento do seu balanço hídrico. Em situações em que a taxa de uso de fontes subterrâneas é maior do que a taxa de recarga do aquífero, o uso pode ser visto apenas como forma de mineração. Situações como essa ocasionam a diminuição do nível do lençol freático dos aquíferos, causando sua degradação e afetando grandes áreas, transpassando limites de propriedades e fronteiras políticas (FITTS, 2002).

Quanto ao Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico evidencia a irregularidade da distribuição das reservas hídricas quando afirma que a região hidrográfica amazônica corresponde sozinha a 80% das águas superficiais do país. A região nordeste, em contrapartida, possui 3% das reservas superficiais nacionais.

Junto a essa distribuição irregular das reservas hídricas, há de se salientar a irregularidade demográfica. Existindo um distanciamento entre grandes cidades e os principais reservatórios de água doce do Brasil. A região norte possui 8,8% da população enquanto possui 80% das reservas de águas superficiais, conforme supracitado no parágrafo anterior. Situação essa que causa estresse hídrico em locais como o Nordeste, que possui 27,8% da população mesmo com menores reservas (IBGE, 2019).

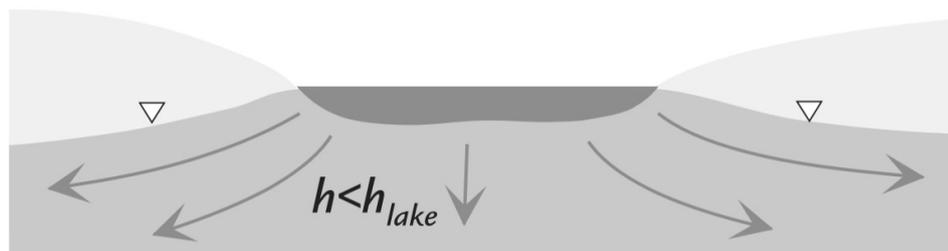
Outro ponto causador de estresse hídrico são os mecanismos de poluição antrópicos e naturais. As águas subterrâneas são de fato menos expostas aos diversos poluentes químicos e biológicos quando comparadas às águas superficiais. Além disso, existe grande influência da geologia onde as águas subterrâneas estão armazenadas, podendo influenciar sua composição química, já que a água pode dissolver minerais quando em contato por longos períodos com as formações geológicas (FITTS, 2002).

É indispensável, assim, o conhecimento das vulnerabilidades dos mananciais, pois existem poluentes que têm efeitos irreversíveis, como é o caso de alguns solventes. Outra característica que vulnerabiliza os mananciais subterrâneos é sua taxa de recuperação quando expostos a contaminantes. Tal taxa pode ser até dez vezes menor quando comparada aos mananciais superficiais (TUCCI; CABRAL, 2003). Nessa direção, Von Sperling (1996) observa que tais processos de poluição alteram a natureza do manancial de tal forma que impedem os seus legítimos usos.

Ainda tratando de poluição, um diagnóstico divulgado pelo SNIS no ano de 2018 mostra que apenas 53% dos brasileiros possuíam coleta de esgoto. Dessa maneira, o restante da população necessita recorrer a alternativas, tais como fossas sépticas, fossas negras ou mesmo despejo de esgoto bruto em córregos e lagos.

Derivada da ocupação desordenada e da ausência de coleta de esgotos, os mananciais subterrâneos ficam sujeitos às formas de poluição difusas discutidas no parágrafo anterior, pois quando não diretamente afetados por fossas, os córregos e lagos que recebem efluentes não tratados podem ser pontos de recarga para aquíferos em locais de ambientes semiáridos como o nordeste brasileiro, assim como ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Perda de água de um corpo hídrico superficial para um aquífero



Fonte: Fitts (2002).

Segundo o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, existem cerca de 28.853 poços cadastrados no Estado do Ceará, dados que apontam a relevância do uso de águas subterrâneas na região Nordeste, onde o Estado do Ceará está inserido. O Ceará é

caracterizado por grandes períodos de estiagem ao longo de sua história, e o uso de fontes subterrâneas é realizado em caráter emergencial no combate à escassez, mesmo que, por vezes, tais fontes estejam inadequadas ou contaminadas.

Nessa direção, Zoby (2008) destaca que o Brasil carece de informações sobre a qualidade das águas subterrâneas. O autor afirma que, de modo geral, não há estudos sistemáticos sobre os aquíferos, sendo as fontes de informações mais relevantes os trabalhos desenvolvidos nas universidades e alguns elaborados por secretarias estaduais.

2.6 Qualidade das águas

No que diz respeito à qualidade da água, é preciso observar que o conceito de qualidade dependerá do uso aplicado a determinada fonte, sendo a qualidade da água exigida pela legislação variável de acordo com o uso pretendido (VON SPERLING, 1996).

Nessa direção, a Funasa (2013) observa que, ao analisar um manancial, a água pode possuir qualidade suficiente para o desenvolvimento de atividades industriais, mas não possuir qualidade suficiente para atividades de recreação de contato primário. Com base nessa observação, é possível fazer um paralelo já que, por vezes, as águas subterrâneas possuem qualidade incompatível com o uso para abastecimento humano, mas têm qualidade suficiente para uso na agricultura, através da irrigação.

Na prática, a caracterização da qualidade da água é realizada com base na determinação dos valores de seus parâmetros físicos, químicos e microbiológicos (BRASIL, 2006). Von Sperling (1996) pontua que a escolha desses parâmetros a serem analisados dependerá do uso ao qual a água se destina, do tipo de manancial (superficial ou subterrâneo), da condição de tratamento (água bruta ou água tratada), dentre outros.

No contexto nacional, a escolha desses parâmetros é pautada em normas, tais como:

- a) Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterando o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017;
- b) Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Apesar dessas normas aqui citadas e debatidas no decorrer do presente trabalho, é

válido observar que cada caso em estudo necessitará da aplicação de um conjunto particular de normas.

Ademais, Von Sperling (1996) pontua que é comum a realização de diferentes usos a partir de uma mesma fonte de água. Dessa maneira, é preciso que a qualidade seja condizente com todos os usos, observando as condições exigidas para a atividade mais restritiva dentre as demais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O tópico atual tem como objetivo descrever todas as etapas adotadas no decorrer da presente pesquisa, de modo a trazer clareza aos procedimentos realizados. Assim, o tópico descreve desde a etapa de pesquisa bibliográfica até realização das análises em laboratório.

3.1 Metodologia de pesquisa

A primeira etapa consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica, utilizando diversas fontes, como documentos acadêmicos e normas legais, incluindo leis, regulamentos, portarias e decretos. Além disso, foram consultados os roteiros de inspeção direcionados aos profissionais de vigilância da qualidade da água para consumo humano elaborados pelo Ministério da Saúde (MS).

Em seguida, foram conduzidas pesquisas específicas em relação a área de captação da água subterrânea, incluindo uma visita *in loco* nas proximidades do poço utilizado pelo SAC, objeto de estudo. Com base nas informações coletadas, foi elaborado o plano de monitoramento, que definiu os objetivos, parâmetros escolhidos, métodos analíticos e plano de amostragem.

Após essas definições, foram realizadas coletas ao longo de cinco meses, seguindo os procedimentos adequados de coleta, acondicionamento e transporte das amostras. Todas as análises laboratoriais foram conduzidas em duplicata no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Ceará - Campus Russas. A Figura 9 apresenta um fluxograma resumindo o programa metodológico descrito.

Figura 9 – Programa metodológico da pesquisa

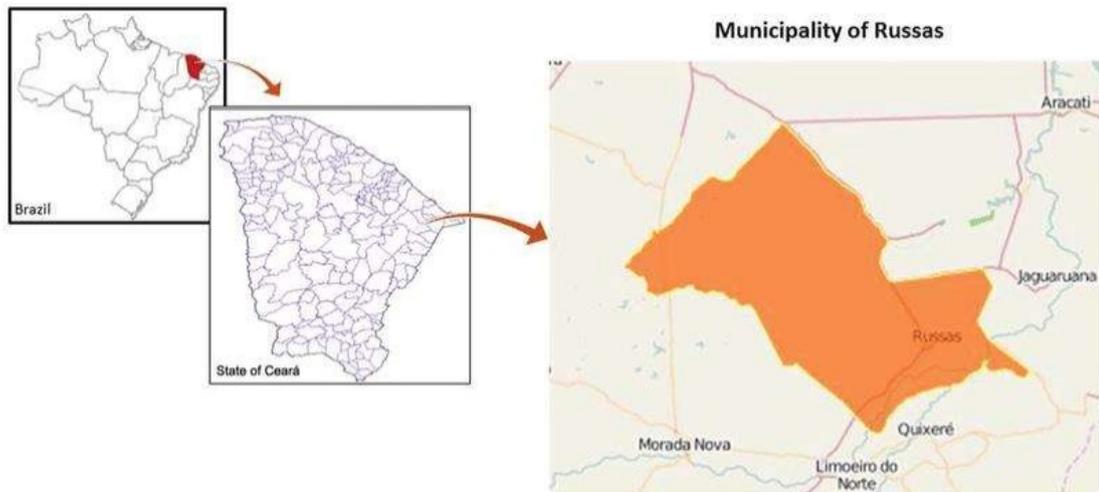


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.2 Descrição da área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Russas, Figura 10, inserido na mesorregião do Jaguaribe e microrregião do Baixo Jaguaribe, no Estado do Ceará. O município fica localizado a 166 km de Fortaleza, através da BR-116, e a 126 km do Município de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte. É um dos três maiores centros urbanos do Vale do Jaguaribe e do litoral leste cearense, juntamente com Aracati e Limoeiro do Norte. O município é dividido em seis distritos: Sede, Peixe, Flores, Bonhu, São João de Deus e Lagoa Grande (SCIDADES, 2018). No entanto, o estudo concentra-se na área da Sede do município, onde, segundo o IBGE (2021), cerca de 86% dos seus 79.550 habitantes estão concentrados.

Figura 10 – Município de Russas-CE



Fonte: Calegar *et al* (2016).

O estudo ocorreu em uma área de captação de água subterrânea de uma SAC. A área fica localizada no bairro Vila Matoso, possuindo coordenadas com latitude de 4.94520 graus sul e longitude de 37.97728 graus oeste. A Figura 11 apresenta a área descrita e seu entorno.

Figura 11 – Área de estudo e seu entorno



Fonte: Google Earth (2021).

O ponto de captação da SAC está localizado na faixa marginal do riacho Araibu e possui acesso direto ao seu leito. Em relação ao entorno, é válido notar a ocupação de

edificações nas faixas marginais, que avançam sobre a borda da calha do riacho, ocupando a área de preservação permanente de forma irregular.

3.3 Avaliação sanitária da zona de captação

Para a realização dessa etapa, foram utilizados como material de apoio dois documentos do Ministério da Saúde: Guia Prático de Inspeção Sanitária em Formas de Abastecimento de Água para Consumo Humano (2021) e Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água (2006), por constituírem orientações aos técnicos de vigilância da qualidade da água para consumo humano que atuam com inspeções.

Com base nas orientações contidas nos materiais, foram realizadas visitas *in loco* para identificação das condições sanitárias da zona de captação da água subterrânea, avaliando o uso e ocupação de seu entorno e identificando possíveis fontes de poluição, tais como resíduos sólidos urbanos, descarga de efluentes domésticos sem tratamento prévio, presença de dejetos de animais, possibilidade da descarga de efluentes de fossas sépticas e ocorrência de fontes de poluição difusa.

Foram verificadas as condições da vegetação de preservação da área de proteção permanente, buscando indícios de degradação ou mesmo sua inexistência. Outro ponto relevante foi a verificação do crescimento de algas nos trechos molhados do riacho Araibu adjacentes às instalações da SAC, o que poderia ser um indicador de poluição.

3.4 Avaliação sanitária da SAC

O mesmo material de apoio citado no tópico anterior foi utilizado como base para averiguar as condições sanitárias do local destinado ao bombeamento da água subterrânea e sua reservação.

Foram realizadas visitas *in loco* para averiguar as condições da estrutura de reservação, buscando verificar o estado de manutenção e/ou existência de problemas visíveis de deterioração, bem como o controle de acesso por pessoas não autorizadas ou animais.

Foi verificado, entretanto, que o local ficava comumente sem a presença de um responsável durante o abastecimento realizado por veículo transportador, o que impediu o acesso direto às instalações de bombeamento, por exemplo. Dessa forma, a avaliação discutida nessa etapa são apenas indicações baseadas em observações realizadas na proximidade da área, que permitiram a verificação de condições sanitárias inadequadas

abordadas no material de Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água do Ministério da Saúde (2006).

É válido salientar que a área não possuía estruturas de proteção de alvenaria e que, devido à pequena dimensão das instalações de bombeamento e reservação, existe a possibilidade de não haver tratamento.

3.5 Plano de monitoramento

A primeira etapa na definição do plano de monitoramento é a delimitação do seu objetivo. A presente pesquisa tinha inicialmente dois objetivos relacionados ao monitoramento da qualidade da água proveniente da SAC. O primeiro objetivo era verificar possíveis variações durante o período de estiagem do município, compreendido entre os meses de julho a dezembro. O segundo objetivo era verificar as condições mínimas de potabilidade exigidas pela Portaria GM/MS nº 888/21 para a água distribuída pela SAC.

No entanto, com base no que foi discutido no tópico anterior sobre a possibilidade de ausência de tratamento da água distribuída pela SAC, foi adicionado mais um objetivo, que era averiguar a qualidade da água distribuída de acordo com os parâmetros de avaliação de águas brutas estabelecidos por normas como as Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 396/2008, que tratam, respectivamente, da classificação dos corpos de água e da classificação das águas subterrâneas. É importante observar que existem parâmetros comuns nessas normas mencionadas. No entanto, foi tomado o cuidado de observar que os Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada caso podem ser diferentes, dependendo da legislação utilizada durante a interpretação dos dados dos ensaios.

Os parâmetros analisados nessa pesquisa foram: coliformes totais, *Escherichia Coli*, turbidez, pH, cloretos, dureza total, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e alcalinidade total. O método de análise foi escolhido levando em consideração a viabilidade técnica, bem como os objetivos específicos de cada parâmetro.

Portanto, os métodos foram o Teste do Substrato Cromogênico, Teste de Produção de Indol, Método Nefelométrico, Método Potenciométrico, Método Argentométrico, Titulação Complexométrica por EDTA (ácido etilenodiaminotetracético), Método de Aproximação por Correlação, Método Condutimétrico e Método de Titulação Potenciométrica, respectivamente, para os parâmetros mencionados no parágrafo anterior.

Em relação à amostragem, é importante destacar que a presente pesquisa abrange a avaliação da água tanto na sua forma bruta quanto tratada. Portanto, foi adotado o critério

mais restritivo para a determinação das condições de amostragem. Para definir a frequência e o número de amostras, foi utilizado o Anexo 15 da Portaria GM/MS nº 888/21, que estabelece as diretrizes de controle de qualidade da água para SAC, considerando as análises físicas, químicas e microbiológicas. A Figura 12 ilustra o plano de monitoramento aqui descrito.

Figura 12 – Fluxograma do plano de monitoramento



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.6 Coleta de amostras

Em relação à coleta, é válido ressaltar as diferentes etapas pelas quais a água destinada ao consumo humano passa. Como exemplo, podemos citar as etapas envolvidas em uma SAC, como captação, tratamento, reservação e distribuição por meio de sistema simples ou veículo transportador. Nesse sentido, na presente pesquisa, foi determinado que as coletas seriam feitas diretamente no ponto de consumo, a fim de avaliar a qualidade final da água recebida pelos usuários.

Portanto, foram selecionados dois edifícios multifamiliares abastecidos pela SAC, com o objetivo de reduzir interferências na qualidade da água provenientes das instalações prediais. Vale ressaltar também que ambos os edifícios realizavam limpezas periódicas em seus

reservatórios.

Dessa forma, foram utilizados dois recipientes para a coleta das amostras: um recipiente esterilizado para a coleta microbiológica e outro destinado às amostras físico-químicas. Assim, a primeira coleta realizada foi a microbiológica na área comum de ambas as edificações. O procedimento consistiu na higienização da torneira com álcool etílico 70%, a fim de eliminar qualquer possibilidade de contaminação externa. Em seguida, a torneira foi aberta e a água deixada escoar por 2 minutos para eliminar possíveis resíduos nas tubulações. Após a conclusão da coleta microbiológica, as coletas físico-químicas foram realizadas na mesma torneira.

3.7 Parâmetros microbiológicos

Os ensaios microbiológicos são necessários para assegurar que patógenos não sejam veiculados de forma hídrica durante a distribuição de água para consumo humano ou durante a realização de atividades recreativas de contato primário, por exemplo. Dessa forma, a legislação brasileira, a OMS, a UE e outras entidades recomendam a identificação de organismos indicativos da presença de patógenos. Essa recomendação é baseada no fato de existir uma grande variedade de microrganismos presentes naturalmente nos ambientes aquáticos, que às vezes têm sua detecção onerosa ou inviáveis tecnicamente.

Seguindo as indicações da Portaria GM/MS nº 888/21, foram realizadas as análises de Coliformes Totais e *Escherichia Coli* em todas as amostras. O método da primeira análise foi o Teste do Substrato Cromogênico, e o da segunda análise foi o Teste de Produção de Indol. Dessa forma, o tópico descreverá os procedimentos que foram realizados em laboratório, bem como algumas observações pertinentes à adequada realização da análise para ambos os ensaios aqui discutidos.

3.7.1 Coliformes totais

Para a detecção da presença de coliformes totais, foi utilizado um Teste de Substrato Cromogênico. O mercado possui diferentes marcas que produzem tais substratos, como Colilert, Colisure, ColiTest (FIGURA 13) e outros. No entanto, o princípio é o mesmo e baseia-se na utilização de substratos cromogênicos, como o orto-nitrofenil-beta-D-galactopiranosídeo ou o clorofenol vermelho-beta-D-galactopiranosídeo. O objetivo, então, é detectar a enzima β -D-galactosidase produzida pelas bactérias coliformes, que hidrolisa o

substrato orto-nitrofenil-beta-D-galactopiranosídeo para liberar o cromogênio. Esse processo resulta na produção de uma cor amarela e é utilizada como indicador visual da presença dos coliformes.

Figura 13 – Substrato cromogênico



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Após entendimento do princípio do teste será tratado a seguir o procedimento realizado em laboratório com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – SMWW (APHA; AWWA; WEF, 2017).

Inicialmente, é indicada a realização da mistura da amostra para que ocorra a distribuição uniforme de bactérias, devido à tendência natural que as bactérias têm em se agrupar, o que pode provocar heterogeneidade na amostra. O SMWW (2017) indica que seja derramada uma pequena porção da amostra, deixando um espaço livre no recipiente, e assim prosseguir com a agitação por 7 segundos ou aproximadamente 25 agitações, em movimentos para frente e para trás.

Todavia, a coleta foi realizada em recipiente autoclavado próprio e em quantidade suficiente para ser colocada diretamente na Estufa Bacteriológica. Dessa forma, não foi necessária a etapa preliminar de homogeneização, pois não houve transferência da amostra para um recipiente diferente.

Para a realização do teste, existem diferentes procedimentos, como o Procedimento de Presença-Ausência (P/A) utilizado na presente pesquisa, bem como o Procedimento de Tubos Múltiplos. O segundo é um teste de Número Mais Provável (NMP) que realiza diferentes diluições da amostra para observar o crescimento bacteriano e realizar, não somente a detecção, mas também a quantificação de coliformes por meio de cálculos estatísticos.

O Procedimento de Presença-Ausência foi realizado durante o desenvolvimento da presente análise, devido ao fato de ser o procedimento exigido na Portaria GM/MS nº

888/2021 para a água destinada ao abastecimento humano.

Desse modo, o conteúdo do ColiTest foi adicionado de forma asséptica a uma amostra de 100 mL em um recipiente autoclavado e transparente. Após a adição, foi realizada agitação vigorosa para promover a dissolução (FIGURA 14). No entanto, foi observado que alguns resíduos não foram dissolvidos. Nesse sentido, o SMWW (2017) afirma que isso é um fato esperado e que não afeta o desempenho do teste.

Após a etapa de adição e homogeneização do substrato, é indicado que os recipientes sejam colocados na Estufa Bacteriológica em até 30 minutos, a uma temperatura de $35 \pm 5^\circ \text{C}$. No entanto, os recipientes foram colocados imediatamente após a homogeneização.

Diferentemente da temperatura, o tempo de permanência da amostra na estufa varia de acordo com o substrato utilizado. O Colisure deve ser mantido na estufa por um período $\geq 24\text{h}$, enquanto o Colilert-18 requer um período $\geq 18\text{h}$. Dessa forma, foram observadas as indicações do fabricante do ColiTest, que recomendava um período de 18h para verificar o resultado positivo e um período de 48h para verificar o resultado negativo. Na figura 16 está ilustrado o resultado de uma das coletas após um período de 48h de incubação, evidenciando a mudança de coloração para o amarelo, indicando a presença da enzima β -D-galactosidase e, conseqüentemente, de coliformes totais.

Figura 14 – Amostras microbiológicas com adição do substrato cromogênico



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 15 – Estufa bacteriológica



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 16 – Coloração amarela indicando positivo para CT



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.7.2 *Escherichia Coli*

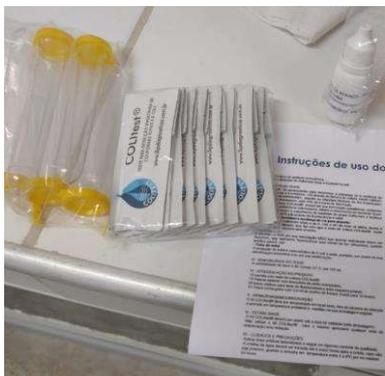
A identificação da *E. Coli* em amostras de água é considerada um indicador direto de contaminação fecal e, assim, da presença potencial de patógenos entéricos. Isso ocorre devido ao fato de a *E. Coli* fazer parte da flora intestinal de seres humanos e animais de sangue quente. Os testes para sua identificação podem ser aplicados em águas potáveis, águas superficiais, águas subterrâneas e em águas residuais. Eles são frequentemente utilizados em investigações da qualidade da água potável, bem como na identificação de poluição de corpos hídricos. Os testes para detecção da *E. Coli* são variados, podendo ser utilizados o Método de Filtração por Membrana, o Teste do Substrato Fluorogênico e o Teste de Produção de Indol (APHA; AWWA; WEF, 2017).

Alguns meios de cultura, como o Colilert, possuem ambos os substratos: o cromogênico, indicador da presença de coliformes totais, e o substrato fluorogênico, indicador da presença de *E. Coli*. O ColiTest utilizado nesta pesquisa possuía apenas o substrato cromogênico. No entanto, o kit ColiTest disponível no Laboratório de Saneamento contava com o reagente Kovacs. Com base no exposto, foi realizado o Teste de Produção de Indol para identificar a presença de *E. Coli* nas amostras estudadas.

O Teste de Produção de Indol não deve ser usado para detectar diretamente a presença de *E. Coli*. É necessário realizar um enriquecimento prévio em meio de cultura de coliformes totais. Em outras palavras, a realização do Teste de Indol depende de ter uma cultura positiva para coliformes totais.

Com base no resultado positivo para coliformes totais, descrito no tópico anterior, foram transferidos aproximadamente 5 a 10 mL da amostra para um tubo de ensaio fornecido no kit ColiTest. Em seguida, foram adicionadas entre 3 a 5 gotas do reativo de Kovacs na superfície do meio. O reativo de Kovacs é composto por ácido p-dimetilaminobenzaldeído e ácido clorídrico concentrado. Ao ser adicionado ao meio de cultura, reage com o indol produzido pela *E. Coli*, resultando na formação de um anel de coloração rósea. As Figuras 17, 18 e 19 ilustram os tubos de ensaio disponíveis no laboratório, seguidos da aplicação do reativo de Kovacs e do resultado positivo após aproximadamente 2 minutos.

Figura 17 – COLItest e reagente de Kovacs



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 18 – Aplicação do reagente de Kovacs



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 19 – Anel de coloração rósea, indicando positivo para *E. Coli*



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.8 Parâmetros físico-químicos

O presente tópico aborda a medição de propriedades físicas das amostras. Ao contrário dos testes cujo principal objetivo é determinar concentrações de componentes químicos ou identificar a presença de microorganismos, como discutido nos demais tópicos. É importante observar que as propriedades físicas não podem ser completamente separadas da composição química. Existem alguns parâmetros tradicionalmente classificados como propriedades físicas que medem as propriedades resultantes da presença de determinados constituintes na água.

A presente pesquisa realizou a medição da turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos para todas as amostras coletadas.

3.8.1 Turbidez

Logo em seguida à preparação da amostra para o ensaio de coliformes totais, deu-se início aos preparativos para o ensaio de turbidez. Isso ocorreu porque alterações nas condições da amostra, como a sua temperatura original, podem dissolver partículas suspensas, causar a formação de flocos ou resultar na sedimentação de partículas.

Para a análise neste estudo, foi utilizado o Método Nefelométrico, que se baseia na comparação da quantidade de luz dispersa pela amostra com a quantidade da luz dispersa por uma suspensão de referência padrão nas mesmas condições. As Figuras 20, 21 e 22 ilustram as amostras, o equipamento modelo TU430 da AKSO e quatro suspensões padrão que o acompanham. As suspensões padrão foram utilizadas para a calibração do Turbidímetro

durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 20 – Recipientes com as amostras físico-químicas



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 21 – Turbidímetro Digital TU430



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 22 – Soluções padrão de 0, 20, 100 e 800 NTU



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

A primeira etapa foi a realização da calibração do Turbidímetro, utilizando as quatro soluções padrão que acompanhavam o equipamento. Essas soluções tinham valores de 0, 20, 100 e 800 NTU. O procedimento de calibração foi realizado de acordo com as indicações de operação do fabricante, sempre certificando-se de que o nefelômetro fornecesse leituras estáveis para cada um dos passos.

A segunda etapa consistiu na observação das amostras antes da medição da turbidez, a fim de verificar a presença de detritos ou sedimentos grosseiros que se depositassem rapidamente. Posteriormente, foi também observada a presença de floculação para avaliar a necessidade de agitar a amostra e dissolver esses agregados. Todavia, durante todo o período de monitoramento, as amostras não apresentaram tais características.

Antes de transferir a amostra do recipiente de coleta para a cubeta do equipamento, foi realizada uma agitação suave para homogeneizá-la. Em seguida, transferiu-se 20 mL para a cubeta, com cuidado para evitar a formação de bolhas de ar.

Após essa transferência, foi verificado se a célula apresentava ranhuras, manchas provenientes do manuseio ou condensação na sua superfície externa. Para isso, utilizou-se um tecido próprio que acompanha o equipamento para limpar a cubeta, seguindo do posicionamento da amostra dentro do equipamento.

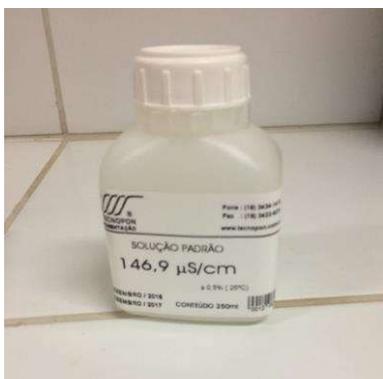
Os procedimentos descritos são indicações do SMWW (2017), visando garantir uma medição reproduzível e precisa.

3.8.2 Condutividade elétrica

As análises foram realizadas utilizando o condutivímetro Tecnocon mCA-150. É válido observar que foram seguidas as instruções específicas do fabricante em relação a calibração e uso, assim como indicado pelo SMWW (2017). Dessa forma, para a calibração do equipamento foi utilizado uma solução padrão que acompanha o próprio medidor, com um valor igual a 149.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conforme mostrado na Figura 23.

Após transferir a solução padrão para um béquer de 100 mL, procedeu-se à lavagem da célula com água destilada, conforme indicado no visor do equipamento na Figura 24. A célula foi enxugada com um material macio, e a calibração foi concluída, conforme ilustrado na Figura 25. É importante ressaltar que, devido ao espaçamento das medições na presente pesquisa, a calibração do equipamento foi realizada ao longo de todo o período das análises laboratoriais.

Figura 23 – Solução padrão de 146,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$



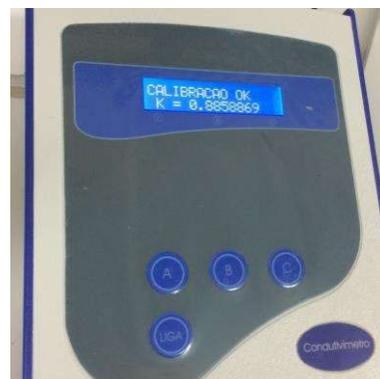
Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 24 – Lavagem da célula do condutivímetro com água destilada



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

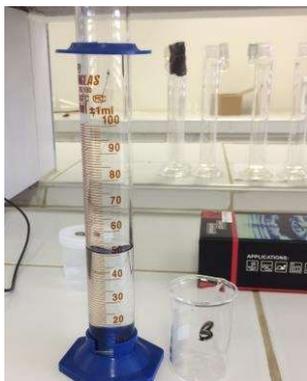
Figura 25 – Condutivímetro após calibração



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Seguindo a análise, foi realizada a homogeneização da amostra e medido um volume de 70 mL em uma proveta, que foi então transferido para um béquer de 100 mL. Com as amostras medidas e identificadas, procedeu-se à lavagem do medidor com água destilada e o inseriu no béquer para obter a leitura, conforme ilustrado pelas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 26 – Medição das amostras



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 27 – Amostras medidas e identificadas



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 28 – Medição da condutividade



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.8.3 Sólidos totais dissolvidos

É importante observar que a composição e natureza dos sólidos totais dissolvidos podem variar amplamente para cada água em estudo. Portanto, existem diferentes métodos que podem ser utilizados, dependendo do objetivo da análise.

O SMWW (2017), por sua vez, descreve diferentes métodos, como a determinação de STD por secagem a 180°C e por secagem entre 103-105°C. Segundo a mesma fonte, também existem métodos que utilizam análises químicas e métodos de aproximação em que estes últimos utilizam uma correlação entre análises físicas ou químicas para determinar os sólidos totais dissolvidos.

Nesse sentido, a presente pesquisa utilizou o método de aproximação com o uso do condutivímetro de bancada Tecnopon mCA-150, que possui um fator de conversão já configurado no equipamento.

Como o equipamento já havia sido utilizado anteriormente para medir a condutividade elétrica, a calibração já havia sido realizada e as amostras já haviam sido medidas e colocadas no béquer de 100 mL. Portanto, foi necessário apenas configurar o equipamento para prosseguir com a medição do parâmetro discutido. Além disso, como mencionado anteriormente, realizou-se a lavagem da célula utilizando uma pisseta com água destilada, seguida da secagem com um material macio entre cada medição.

3.9 Parâmetros químicos

Os ensaios discutidos neste tópico são baseados na análise da qualidade da água por meio da sua composição química, que é influenciada pela presença de diversos

constituintes de origem natural ou antrópica. Os parâmetros químicos são utilizados em várias situações para monitorar e avaliar a qualidade da água potável, água natural e água residual. Além disso, esses parâmetros são essenciais para definir os melhores processos de tratamento e avaliar os riscos à saúde humana decorrentes da presença de componentes químicos prejudiciais.

3.9.1 pH

Durante as medições realizadas na pesquisa, foi utilizado o método eletrométrico, cujo princípio básico é a determinação da atividade dos íons hidrogênio por meio de medição potenciométrica. Para isso, foi utilizado um eletrodo de hidrogênio padrão composto por platina, no qual gás hidrogênio é borbulhado a uma pressão de 101 kPA. No entanto, devido à dificuldade de uso e ao risco de envenenamento do eletrodo de hidrogênio, um eletrodo de vidro é comumente empregado.

O sistema do eletrodo gera uma força eletromotriz que varia linearmente com o pH. Essa relação linear é determinada traçando a força eletromotriz em função do pH em diferentes soluções tampão. Portanto, o pH das amostras é determinado por extrapolação realizado pelo equipamento utilizado.

O procedimento do ensaio teve início com a calibração do equipamento. O SMWW (2017) recomenda seguir as instruções do fabricante específicas para cada medidor de pH, bem como as orientações para o armazenamento e a preparação adequada dos eletrodos durante o uso. É importante ressaltar que as soluções de armazenamento variam de acordo com o tipo de eletrodo e o fabricante. Por exemplo, para o eletrodo de vidro único, é utilizada uma solução tampão de pH 4, enquanto para o eletrodo de referência de calomelano e Ag/AgCl, é recomendada uma solução de KCl.

Inicialmente foi realizada a calibração do equipamento TecnoPON mPA-210 utilizando três soluções tampão fornecidas pelo fabricante. Essas soluções incluíam uma de pH 4 e outra de pH 7 (FIGURA 29). É importante lembrar de manter os eletrodos úmidos, utilizando uma pisseta com água destilada para enxaguá-los e retornar à solução de armazenamento sempre que o medidor não estiver em uso.

Em relação à calibração (FIGURA 30), é importante observar que devem ser realizadas calibrações antes de cada medição quando se trata de medições ocasionais, como no caso desta pesquisa, que eram realizadas uma vez por mês. Além disso, é recomendado fazer calibrações entre uma amostra e a seguinte quando os valores de pH variam

consideravelmente entre elas. No entanto, no caso das amostras estudadas, os valores de pH eram semelhantes, portanto, não foi necessário fazer calibrações adicionais entre cada uma delas.

Após o equipamento ter sido calibrado, procedeu-se à homogeneização da amostra e, em seguida, utilizou-se uma proveta para medir com maior precisão 70 mL da amostra, que foi transferida para um béquer de 100 mL. É importante ressaltar que todas as medições foram realizadas em duplicata.

Seguindo as instruções do fabricante e do SMWW (2017), o eletrodo foi removido da solução de armazenamento e enxaguado com água destilada. Em seguida, foi seco com um material macio antes de ser inserido na amostra para realização da medição, como mostrado na Figura 31.

Figura 29 – Solução tampão com pH 4 e 7



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 30 – pHmetro de bancada calibrado



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 31 – Realização da medição do pH das amostras



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

3.9.2 Alcalinidade total

No que diz respeito aos métodos de determinação da Alcalinidade Total, o SWMM (2017) descreve o método de titulação colimétrica e o método de titulação potenciométrica. Ambos possuem o mesmo princípio, pois são uma análise volumétrica de neutralização ácido-base, em que o ácido sulfúrico é utilizado como titulante.

A presente pesquisa utilizou a titulação potenciométrica por meio do pHmetro de bancada Tecnocon mPA-210, mencionado no tópico 3.9.1, para a determinação do valor de pH ao longo do procedimento. À medida que as espécies iônicas são neutralizadas pela adição de ácido sulfúrico à amostra, o pH sofre alterações que são indicadas pelo pHmetro. Dessa forma, é possível identificar o momento de conclusão da titulação.

Neste estudo, todas as amostras apresentaram valores de pH inferiores a 8, e,

portanto, o ponto final estabelecido para encerrar a titulação foi de 4,4. É importante observar que, devido à faixa de pH das amostras estar entre 8,3 e 4,4, isso indica que a alcalinidade total das amostras foi equivalente à alcalinidade por bicarbonatos.

A primeira etapa do procedimento consistiu em homogeneizar a amostra, medir e transferir 70 mL para um béquer de 100 mL. Em seguida, a bureta foi preenchida com ácido sulfúrico 0,012 mol/L, ajustando adequadamente o menisco.

Devido à necessidade de utilizar a bureta e o medidor de pH simultaneamente, foi utilizado um agitador magnético para garantir a homogeneização da amostra durante a análise, conforme ilustrado na Figura 32. Seguindo as instruções do SMWW (2017), a titulação da amostra foi realizada até atingir o ponto final de pH 4,4, sem registrar os valores intermediários. É importante observar que foi tomado cuidado para adicionar o titulante em pequenas quantidades à medida que a análise se aproximava do ponto final, além de aguardar o pH atingir o equilíbrio antes de adicionar mais titulante.

Figura 32 – Agitador magnético utilizado na titulação de alcalinidade



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Após determinar o volume consumido do ácido sulfúrico, utilizou-se a equação 1 para obter o resultado final da alcalinidade total em mg CaCO₃/L.

$$AT = \frac{N \times A}{B} \times 50.000 \times FD \quad (1)$$

onde:

A = volume gasto para titular a amostra, em mL;

B = volume de amostra, em mL;

N = normalidade do ácido sulfúrico;

FD = fator de diluição.

3.9.3 Cloretos

O SMWW (2017) apresenta seis métodos para a determinação de cloretos, os quais devem ser escolhidos de acordo com as condições da amostra e os objetivos da pesquisa. Como exemplo tem-se o método potenciométrico, adequado para amostras coloridas ou turvas, nas quais as mudanças de cor podem ser difíceis de observar. Outros métodos mencionados são o método do nitrato de mercúrio e a análise de injeção em fluxo de tiocianato mercúrico, sendo este último uma técnica colorimétrica automatizada capaz de analisar um grande número de amostras. Para esta pesquisa em particular, foi utilizado o método argentométrico durante a realização das análises.

O método argentométrico é baseado no fato de que, em uma solução neutra ou ligeiramente alcalina que contenha cloretos, o cromato de potássio pode ser utilizado como indicador para determinar o ponto final da titulação com nitrato de prata. Inicialmente, a amostra que contém ânions cloreto recebe a adição do ânion cromato como indicador. À medida que a titulação ocorre, o cátion prata presente no titulante é disputado pelos dois ânions.

No entanto, o cloreto de prata possui um produto de solubilidade maior e terá preferência na reação, resultando na formação de um precipitado coloidal, amorfo e branco, o qual reduzirá a cor amarela brilhante da solução. No momento em que o ânion cloreto for totalmente consumido pelo cátion prata, o ânion cromato começará a ser consumido, o que causará uma mudança de cor para um tom de vermelho. Assim que for percebida a formação dos primeiros cristais de cromato de prata, a titulação deve ser imediatamente finalizada, pois isso indica que todo o cloreto presente na amostra já foi consumido.

Para realizar a análise, o primeiro passo consistiu em homogeneizar a amostra e, em seguida, medir 5 mL utilizando uma proveta. Em seguida, foram medidos 45 mL de água destilada com outra proveta, a fim de diluir a amostra numa proporção de 1/10.

Posteriormente, verificou-se o valor do pH da amostra para determinar se estava dentro da faixa necessária para o método argentométrico. No entanto, todas as amostras apresentaram um pH próximo à neutralidade, não sendo necessário realizar correção do pH.

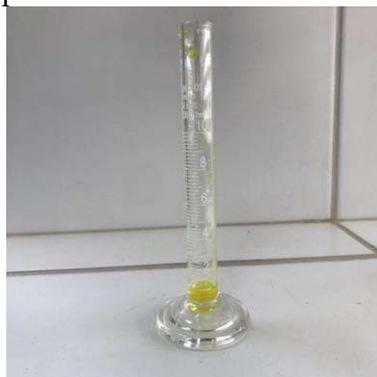
A amostra foi então transferida para um Erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 1 mL do indicador cromato de potássio a 5%. Em seguida, a bureta foi preenchida com o titulante nitrato de prata, utilizando um béquer para auxiliar no processo. As Figuras 33, 34 e 35 ilustram o procedimento até aqui descritos.

Figura 33 – Titulante e indicador utilizados para análise de cloretos



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 34 – Medição do indicador cromato de potássio



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 35 – Preenchimento da bureta com o titulante nitrato de prata



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

As Figuras 36, 37 e 38 ilustram o início da titulação, o momento de viragem e o resultado final, evidenciado pela formação dos primeiros cristais de cromato de prata, conferindo uma coloração avermelhada à amostra titulada.

Figura 36 – Início da titulação de cloretos



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 37 – Momento da viragem e final da titulação de cloretos



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 38 – Comparação visual do ponto de viragem para cloretos



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Em relação ao ponto de viragem, é importante destacar que, em titulações que utilizam indicadores de mudança de cor, pode haver dificuldade para o analista identificar corretamente o momento de encerrar a titulação. Isso depende da experiência e da acuidade visual de cada indivíduo. Para evitar erros durante a análise desta pesquisa, foram feitas

anotações de volumes provisórios do titulante gasto. Essas anotações permitiram verificar se, com a continuação da titulação, ocorreria uma mudança de cor ou se a cor se manteria constante.

Após determinar o volume consumido do nitrato de prata, utilizou-se a equação 2 para obter o resultado final em mg Cl⁻/L.

$$\text{Cl}^- = \frac{(A - B) \times N \times 35.450 \times \text{FD}}{C} \quad (2)$$

onde:

- A = volume gasto para titular a amostra, em mL;
- B = volume gasto para titular a prova em branco, em mL;
- C = volume de amostra, em mL;
- N = normalidade do nitrato de prata;
- FD = fator de diluição.

3.9.4 Dureza total

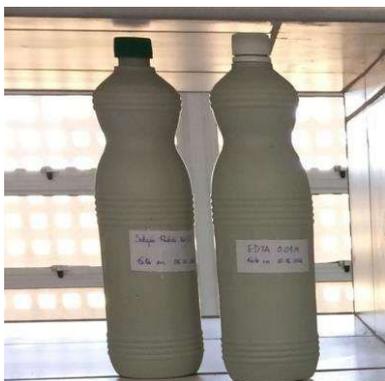
Em relação aos métodos de análise, o SMWW (2017) descreve duas abordagens. O primeiro método, mais preciso, envolve a determinação separada das concentrações de cálcio e magnésio. O segundo método, utilizado nesta pesquisa, é a titulação complexométrica por EDTA.

O princípio desse método baseia-se no fato de que o EDTA e seus sais de sódio formam um complexo quelado solúvel quando adicionados a uma solução contendo cátions metálicos, como cálcio e magnésio.

Nesse método, o EDTA é adicionado como titulante, enquanto o preto de eriocromo T é usado como indicador complexométrico. Quando adicionado à solução, o preto de eriocromo T forma complexos com os cátions de cálcio e magnésio, resultando em uma cor rosa. À medida que o EDTA é adicionado, sendo um quelante mais forte que o preto de eriocromo T, ele complexa todos os cátions de cálcio e magnésio, liberando o preto de eriocromo T na solução, que adquire uma coloração azul, indicando o ponto de viragem da titulação.

Em relação ao procedimento de ensaio, a primeira etapa consistiu na homogeneização da amostra, seguida pela medição de 25 mL utilizando uma proveta. Além disso, foram medidas 25 mL de água destilada para realizar a diluição da amostra, resultando em uma diluição de 1/2. Na etapa seguinte, foram adicionados 3 mL de hidróxido de sódio 0,5 M, com pH 10, juntamente com uma pitada do indicador complexométrico preto de eriocromo T. Com a amostra preparada, a bureta foi preenchida com o titulante EDTA 0,01 M, verificando o menisco e o preenchimento do bico da bureta. Todo o processo descrito até aqui está ilustrado nas Figuras 39, 40 e 41.

Figura 39 – Reagente e titulante utilizados para análise de dureza total



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 40 – Amostra após aplicação do indicador preto de ericromo T



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 41 – Preenchimento da bureta com o titulante EDTA



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Com as amostras e a bureta preparadas, deu-se início à titulação, prosseguindo até a inteira complexação dos cátions bivalentes de cálcio e magnésio pelo EDTA, indicada pela mudança de coloração do rosa para o azul devido à presença do preto de eriocromo T livre na solução. O processo de viragem está ilustrado nas Figuras 42, 43 e 44.

Figura 42 – Início da titulação para dureza total



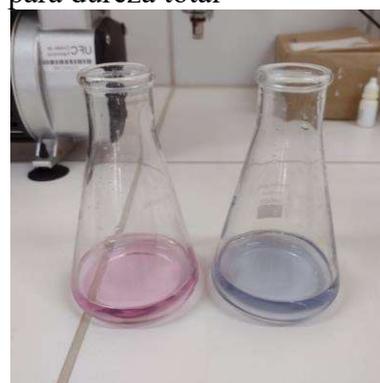
Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 43 – Momento da viragem e final da titulação de dureza total



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Figura 44 – Comparação visual do ponto de viragem para dureza total



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Após determinar o volume consumido do EDTA, utilizou-se a equação 3 para obter o resultado final da dureza total em mg CaCO₃/L.

$$DT = \frac{A \times B \times 1000 \times FD}{C} \quad (3)$$

onde:

A = CaCO₃ equivalente a 1mL de EDTA, em mg;

B = volume gasto de titulante, em mL;

C = volume de amostra, em mL;

FD = fator de diluição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo a fundamentar as discussões e interpretações do presente tópico, foram utilizados trabalhos acadêmicos com objetos de estudo pertinentes à atual pesquisa, bem como legislações que definem parâmetros e condições adequadas para água bruta e tratada destinada ao consumo humano, tal como a Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008.

Em relação à Resolução CONAMA nº 396/2008, foi utilizado o seu Anexo I, que apresenta um quadro de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para uso preponderante em consumo humano.

4.1 Parâmetros físico-químicos

O presente tópico está organizado de modo a apresentar os resultados de Turbidez, Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos analisados durante os cinco meses de monitoramento para os dois pontos de coleta. Além disso, são apresentados os VMP's para águas brutas e tratadas destinadas ao consumo humano, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros físico-químicos

| Mês | Ponto | Turbidez | CE | STD |
|----------|---------|------------------|----------------------------------|---|
| | | UNT | $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ |
| Agosto | Ponto 1 | 0,00 ± 0,50 | 1995,0 ± 39,9 | 1012,2 ± 20,2 |
| | Ponto 2 | 0,00 ± 0,50 | 1847,0 ± 36,9 | 967,1 ± 19,3 |
| Setembro | Ponto 1 | 0,32 ± 0,52 | 1849,5 ± 37,0 | 937,0 ± 18,7 |
| | Ponto 2 | 0,40 ± 0,52 | 1725,0 ± 34,5 | 916,8 ± 16,3 |
| Outubro | Ponto 1 | 0,66 ± 0,53 | 1833,0 ± 36,7 | 932,4 ± 18,6 |
| | Ponto 2 | 0,72 ± 0,54 | 1726,0 ± 34,5 | 867,4 ± 17,3 |
| Novembro | Ponto 1 | 0,77 ± 0,54 | 1701,0 ± 34,0 | 856,3 ± 17,1 |
| | Ponto 2 | 0,82 ± 0,54 | 1689,0 ± 33,8 | 781,0 ± 15,6 |
| Dezembro | Ponto 1 | 3,42 ± 0,67 | 1773,5 ± 35,5 | 884,6 ± 17,7 |
| | Ponto 2 | 3,77 ± 0,69 | 1708,5 ± 34,2 | 809,2 ± 16,2 |
| | VMP | 5 ⁽¹⁾ | ND | 500 ⁽¹⁾ 1000 ⁽²⁾ |

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

CE = Condutividade elétrica; STD = Sólidos totais dissolvidos.

Dados = Média das duplicatas ± exatidão do equipamento; ND = Não descrito na legislação.

Nota ⁽¹⁾: Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

Nota ⁽²⁾: Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.

4.1.1 Turbidez

A realização das análises apresentou um valor crescente da turbidez durante o período de monitoramento, com o menor valor de 0 UNT no mês de agosto e o maior valor de 3,77 UNT em dezembro. O valor médio de Turbidez foi 1,1 UNT, com coeficiente de variação de 124,65%. Esse aumento dos valores de turbidez durante as coletas pode ter sido influenciado pelo período de estiagem juntamente a exploração do aquífero.

De acordo com o gráfico da Figura 3 apresentado no tópico 2.3, o período de estiagem no município russano tem início no mês de julho e se estende até dezembro. Por conta disso, os menores níveis de água no aquífero podem propiciar esse aumento de concentração de partículas suspensas. Outro fator para o aumento da turbidez pode ser a intrusão de água superficial no aquífero em situações de aridez, conforme discutido no tópico 2.5 e ilustrado pela Figura 8.

Silva *et al.* (2007) realizaram um estudo em 11 bacias hidrográficas cearenses, incluindo o Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, para analisar a água subterrânea por meio de 83 poços. Os autores, então, concluíram que a média de turbidez dos poços estudados era de 4 UNT. No entanto, o coeficiente de variação desse parâmetro foi de 147%, indicando uma grande variação da turbidez entre os diferentes domínios litológicos nos quais os poços do estudo estavam localizados.

Assim como o Município de Russas-CE, o Município de Itaiçaba-CE faz parte da Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe e também conta com a presença do aquífero aluvionar. Nesse sentido, Nobre *et al.* (2018) realizaram uma análise hidroquímica-ambiental do aquífero aluvionar no Município de Itaiçaba-CE por meio da análise de 19 poços. Entre os poços analisados, havia poços tubulares, assim como poços Amazonas. Os autores encontraram valores de turbidez variando de 2,4 a 16,8 UNT e determinaram que apenas 22% das amostras apresentaram valores iguais ou inferiores ao VMP de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021.

Nobre *et al.* (2018) concluíram que, entre os parâmetros estudados, a turbidez foi o principal parâmetro em desacordo com a legislação. Portanto, destacam que as águas provenientes dessas fontes devem passar por um processo de filtração para serem destinadas ao consumo humano.

Com base no exposto, é importante ressaltar a natureza heterogênea da turbidez das águas subterrâneas. Nesse contexto, os valores encontrados nesta pesquisa estavam dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma de potabilidade, que determina VMP de 5 UNT.

4.1.2 Condutividade elétrica

Os valores obtidos de condutividade elétrica durante o monitoramento não apresentaram grandes variações. Todas as análises resultaram em valores em torno da média de 1784,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com coeficiente de variação de 5,4%. Portanto, apresentando uma variabilidade baixa e pequena diminuição ao longo dos meses.

Silva *et al.* (2007), em seu estudo, afirmam que os valores médios encontrados para as águas subterrâneas no município de Russas foram de 4790,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Enquanto Nobre *et al.* (2018), ao analisarem as águas subterrâneas do aquífero aluvionar no município de Itaiçaba-CE, encontraram valores médios de 3808,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que se apresenta de forma positiva em relação aos valores encontrados, já que estão bastante abaixo dos valores apresentados pelos autores aqui mencionados.

Esse parâmetro da água não é exigido pela legislação brasileira de maneira direta. Porém, é válido lembrar que condutividade elétrica é utilizada para determinação de parâmetros presentes na legislação, tais como sólidos totais dissolvidos e salinidade. Como exemplo, o SMWW (2017) afirma que nos últimos anos a condutividade é utilizada na determinação do parâmetro de salinidade por sua elevada sensibilidade e precisão.

Apesar da ausência na legislação, é um parâmetro bastante utilizado no monitoramento de águas naturais. Pois variações significativas podem ser sinal de poluição natural ou antrópica. A fundamentação para isto é a fonte diversa dos íons que são originados, sobremaneira, de compostos inorgânicos que alteram a condutividade da água. Esses compostos podem ser oriundos de metais pesados, produtos químicos ou minerais presentes nos solos.

4.1.3 Sólidos totais dissolvidos

Os valores obtidos para STD durante o monitoramento não apresentaram grandes variações. As análises resultaram em valores com média de 896,4 mg/L, com coeficiente de variação de 7,91%. Portanto, apresentando uma variabilidade baixa e pequena diminuição ao longo dos meses.

Nascimento *et al.* (2021) realizaram um estudo sobre a qualidade das águas subterrâneas na região do Baixo Jaguaribe, abrangendo os municípios de Tabuleiro do Norte, São João do Jaguaribe, Morada Nova, Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas. Entre os aquíferos investigados pelos autores, dois deles são relevantes para esta pesquisa, pois estão presentes na sede de Russas: o Aquífero Aluvionar e o Aquífero Fraturado.

Os autores determinaram um valor médio de 1222,16 mg/L para o parâmetro STD no Aquífero Aluvionar, com um coeficiente de variação de 144%. No caso do Aquífero Fraturado, o valor médio para o parâmetro STD foi de 1089,14, com um coeficiente de variação de 69%.

Braga *et al.* (2021) realizaram a classificação da água subterrânea em municípios cearenses com base no parâmetro de STD. Entre esses municípios, Jaguaruana apresentou um valor médio de 1662,0 mg/L. É importante ressaltar que os autores mencionam a presença de diferentes domínios hidrológicos em Jaguaruana, incluindo aquíferos fraturados, aluvionares e sedimentares.

Com base nos estudos de Nascimento *et al.* (2021) e Braga *et al.* (2021), pode-se observar que os valores encontrados durante o monitoramento da SAC estão abaixo das médias discutidas e mais próximos dos valores do Aquífero Fraturado.

A Resolução CONAMA nº 396/2008, apresenta como VMP para uso preponderante para consumo humano de 1000,0 mg/L. Dessa forma, todas as amostras se enquadrariam para uso humano se tratando água bruta. Essa comparação é válida pela possibilidade da SAC não realizar tratamento na água distribuída.

Já a norma de potabilidade define como VMP o valor de 500 mg/L. Dessa forma estando todas as amostras inadequadas em termos de água tratada. Ademais, a referida norma classifica esse parâmetro como padrão organoléptico de potabilidade. Entretanto, a observação de variações significativas pode indicar alterações sofridas pelo corpo hídrico por poluição. Na presente situação é também um indicador da ineficácia ou inexistência de tratamento por parte do controle da SAC.

4.2 Parâmetros químicos

O presente tópico está organizado de modo a apresentar os resultados dos 4 parâmetros químicos analisados durante os 5 meses de monitoramento para os 2 pontos de coleta. Além disso, são apresentados os valores máximos permitidos para águas brutas e tratadas destinadas ao consumo humano, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros químicos

| Mês | Ponto | pH | AT | Cl | DT |
|----------|---------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | | | mgCaCO ₃ ·L ⁻¹ | mgCl·L ⁻¹ | mgCaCO ₃ ·L ⁻¹ |
| Agosto | Ponto 1 | 7,45 ± 0,01 | 265,7 | 592,0 | 394,3 |
| | Ponto 2 | 7,48 ± 0,01 | 310,0 | 543,9 | 380,8 |
| Setembro | Ponto 1 | 7,99 ± 0,01 | 252,0 | 492,7 | 355,2 |
| | Ponto 2 | 7,69 ± 0,01 | 264,0 | 419,0 | 358,5 |
| Outubro | Ponto 1 | 7,95 ± 0,01 | 278,0 | 542,3 | 347,8 |
| | Ponto 2 | 7,95 ± 0,01 | 317,1 | 504,8 | 354,8 |
| Novembro | Ponto 1 | 7,59 ± 0,01 | 202,3 | 453,7 | 342,2 |
| | Ponto 2 | 7,78 ± 0,01 | 214,3 | 390,6 | 365,9 |
| Dezembro | Ponto 1 | 7,58 ± 0,01 | 232,0 | 517,5 | 360,8 |
| | Ponto 2 | 7,80 ± 0,01 | 276,0 | 472,2 | 392,0 |
| | VMP | 6,0 – 9,5 ⁽¹⁾ | ND | 250 ⁽¹⁾⁽²⁾ | 300 ⁽¹⁾ |

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

AT = Alcalinidade total; Cl = Cloretos; DT = Dureza total.

Dados = Média das duplicatas ± exatidão do equipamento; ND = Não descrito na legislação.

Nota ⁽¹⁾: Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021.

Nota ⁽²⁾: Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008.

4.2.1 pH

Os valores de pH durante o período de monitoramento não apresentaram variações expressivas. Todas as amostras tiveram valores de pH em torno de 7,73, com um coeficiente de variação de 2,58%. Portanto, indicando uma baixa variabilidade dos dados em relação à média e não apresentando uma tendência específica ao longo dos meses

Silva *et al.* (2007), em seu estudo sobre as águas subterrâneas cearenses, concluiu que reservas provenientes de aquíferos sedimentares possuíam um pH médio de 7,53. Enquanto reservas provenientes de aquíferos cristalinos possuíam um pH médio de 7,80.

Assim como mencionado no tópico de STD, Nascimento *et al.* (2021) também determinaram o parâmetro de pH para os municípios de sua pesquisa. Os autores obtiveram um valor médio de pH de 7,13 no Aquífero Aluvionar, com um coeficiente de variação de 10%. Já no Aquífero Fraturado, o valor médio de pH foi de 7,53, com um coeficiente de variação de 6%.

Portanto, todas as amostras desta pesquisa apresentaram valores dentro da faixa

média encontrada pelos autores aqui mencionado. No que tange a norma de potabilidade, as águas destinadas ao consumo humano devem apresentar valores de pH entre 6,0 e 9,5. Logo, os valores obtidos também estão em conformidade com a legislação.

4.2.2 Alcalinidade total

Os valores oriundos da titulação para alcalinidade total ao longo do monitoramento permaneceram em torno de 261,14 mg CaCO₃/L, com um coeficiente de variação de 14,35%. Portanto, apresentando uma variabilidade média a baixa e não apresentando uma tendência específica ao longo dos meses. É válido observar que o parâmetro de alcalinidade total não é abordado pelas normas utilizadas como referência no presente texto.

Nobre *et al.* (2018), em seu estudo sobre a água proveniente do aquífero aluvionar no município de Itaiçaba-CE, encontraram um valor médio de alcalinidade de 142,7 mg CaCO₃/L. De maneira semelhante, Sousa e Cunha (2023) realizaram uma análise físico-química da água subterrânea no município de Penaforte-CE, localizado no extremo sul do Estado. Nesse município, que possui três domínios hidrogeológicos, a maioria dos poços é do tipo tubular no Aquífero Fraturado. Os autores encontraram um valor médio de 172,1 mg CaCO₃/L com amostras coletadas em cinco distritos.

Embora os valores encontrados para a água proveniente da SAC sejam maiores do que os determinados nos estudos mencionados, é importante observar que a alcalinidade das águas residuais domésticas geralmente apresenta valores menores ou ligeiramente maiores do que a água de abastecimento. Portanto, não é um indicador relevante de poluição causada por descarga de efluentes.

No entanto, a alcalinidade da água está relacionada à sua capacidade de neutralizar ácidos. Portanto, sua determinação é aplicada no controle dos processos de tratamento de águas naturais, e níveis elevados podem afetar a eficácia do tratamento, indicando possíveis problemas durante o processo de tornar a água própria para consumo. Por essa razão, é importante monitoramento adequado da alcalinidade da água por parte dos responsáveis pela SAC ou SAA.

4.2.3 Cloretos

Os valores obtidos para concentração de cloretos durante o período de

monitoramento não apresentaram alterações significativas. Os valores paramétricos das amostras permaneceram em torno de 492,87 mg Cl⁻/L, com coeficiente de variação de 12,38%. Portanto, apresentando uma variabilidade média a baixa e não apresentando uma tendência específica ao longo dos meses.

Silva *et al.* (2007) apresentam em seu estudo um levantamento da concentração de cloretos nas águas subterrâneas cearenses. Os autores apresentaram a média de 836 mg Cl⁻/L para os aquíferos sedimentares, já os aquíferos cristalinos apresentaram média superior de 1241,7 mg Cl⁻/L.

Ademais, Braga *et al.* (2017) realizaram análise da água subterrânea de 46 municípios cearenses nas regiões litoral, serrana e sertões. Entre os municípios analisados, os autores também realizaram coletas em Russas e Limoeiro do Norte. A média determinada pelo autor para Cloretos na região dos sertões, onde Russas está inserida, foi de 768,61 mg/L.

Consequentemente, os valores encontrados para as amostras apresentaram valores significativamente menores em ambos os casos. Apesar disso, a norma de potabilidade e a norma de classificação das águas subterrâneas estipulam VMP de 250 mg Cl⁻/L.

A presença de cloretos em si não oferece risco à saúde humana. Todavia, esse parâmetro pode ser usado como indicador de poluição por efluentes domésticos, uma vez que o cloreto de sódio é um componente comum na dieta humana. Nas águas subterrâneas, apesar da presença de cloretos poder ser provenientes da dissolução de minerais, também pode ter como origem a infiltração de águas poluídas.

4.2.4 Dureza total

Os valores obtidos na pesquisa não apresentaram variações significativas assim como alguns dos parâmetros já discutidos. Os valores das amostras permaneceram em torno de 365,23 mg CaCO₃/L, com coeficiente de variação de 4,93%. Portanto, apresentando uma variabilidade baixa e não apresentando uma tendência específica ao longo dos meses

Silva *et al.* (2007) em seu estudo sobre as águas subterrâneas cearenses, concluiu que a média de dureza total para águas subterrâneas do sedimento cearense era de 694 mg CaCO₃/L. Já a média da dureza total para águas subterrâneas do cristalino cearense determinada foi de 1179 mg CaCO₃/L.

Ademais, Braga *et al.* (2017) em seu estudo nos 46 municípios cearenses também determinaram os valores de Dureza Total para as águas subterrâneas. A média determinada pelos autores para Dureza Total na região dos sertões, onde Russas está inserida, foi de 721,88

mg CaCO₃/L.

A norma de potabilidade brasileira define a dureza total como parâmetro organoléptico de potabilidade. O VMP definido na portaria é de 300 mg CaCO₃/L. Dessa forma todas as amostras ficaram acima do VMP pela legislação, indicando que a água distribuída esteve inadequada para consumo.

É esperado que as águas subterrâneas tendam a ser mais duras do que as águas superficiais como percebido pelos valores medianos determinados por Silva *et al.* (2007) e por Braga *et al.* (2017). Tal característica provem de compostos que geralmente estão presentes no solo. A água no processo de infiltração e percolação tende a entrar em contato com tais compostos e adquirir essa característica dura.

Além disso, a dureza da água não possui implicações sanitárias e não possui boa relação com poluição por efluentes domésticos. Dessa forma, não se enquadrando como indicador relevante de poluição.

4.3 Parâmetros microbiológicos

O presente tópico está organizado de modo a apresentar os resultados dos 2 parâmetros microbiológicos analisados durante os 5 meses de monitoramento para os 2 pontos de coleta. Além disso, são apresentados os valores máximos permitidos para águas brutas e tratadas destinadas ao consumo humano.

É importante observar que não foi possível realizar as análises microbiológicas durante o mês de setembro. Situação que ocorreu devido à falta de insumos disponíveis para sua realização. Entretanto, todas as demais análises foram realizadas tanto para coliformes totais quanto para *Escherichia Coli*, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros microbiológicos

| Mês | Ponto | CT | <i>E. Coli</i> |
|----------|---------|-------------------|-------------------|
| | | Presença em 100mL | Presença em 100mL |
| Agosto | Ponto 1 | Presente | Presente |
| | Ponto 2 | Presente | Presente |
| Setembro | Ponto 1 | - | - |
| | Ponto 2 | - | - |
| Outubro | Ponto 1 | Presente | Presente |
| | Ponto 2 | Presente | Presente |
| Novembro | Ponto 1 | Presente | Presente |

| | | | |
|----------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Dezembro | Ponto 2 | Presente | Presente |
| | Ponto 1 | Presente | Presente |
| | Ponto 2 | Presente | Presente |
| VMP | | Ausência em 100mL ⁽¹⁾⁽²⁾ | Ausência em 100mL ⁽¹⁾⁽²⁾ |

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

CT = Coliformes totais; *E. Coli* = *Escherichia Coli*.

Dados = Média das duplicatas \pm exatidão do equipamento; ND = Não descrito na legislação.

Nota ⁽¹⁾: Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021.

Nota ⁽²⁾: Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008.

4.3.1 Coliformes totais

Ao longo de todo o período de monitoramento, foram encontrados resultados positivos para coliformes totais na água distribuída pela SAC. Esses resultados estavam, então, em desconformidade com as normas de potabilidade e também com as diretrizes de classificação de águas subterrâneas, que estabelecem a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

Nascimento *et al.* (2021), em seu estudo sobre a qualidade das águas subterrâneas na região do Baixo Jaguaribe, investigaram os Aquíferos Aluvionar, Fraturado, Jandaíra, Açú e Faceira. Os autores concluíram que a concentração média de coliformes foi de 180 NMP/100 mL, e aproximadamente 50% dos poços estudados apresentaram valores de 0 a 50 NMP/100 mL. É válido lembrar que a Portaria GM/MS n° 888/2021 e a Resolução CONAMA n° 396/2008 estabelecem como VMP a ausência de coliformes para 100 mL. Portanto, os autores ressaltam que a maioria dos poços apresentava água imprópria para consumo humano.

No que tange a distribuição de água para consumo humano, Silva (2021) identificou a presença de coliformes totais na água distribuída por uma SAC à população do distrito do Alto Ferrão, no município de Itaiçaba-CE. É importante observar que o autor encontrou resultados positivos no ponto de consumo e na saída do poço. Assim indicando possibilidade de contaminação do aquífero, bem como inadequado tratamento da água distribuída. Fato que coloca a população em risco de saúde e provoca degradação da reserva hídrica.

Na mesma direção, Sousa (2021) identificou resultados positivos para coliformes totais ao analisar o sistema de distribuição do município de Morada Nova. Portanto, o presente estudo em conjunto com os demais trabalhos mencionados salientam a ineficácia das ações por parte das autoridades de saúde pública e autoridades ambientais.

4.3.2 *Escherichia Coli*

Durante o monitoramento, foram verificados resultados positivos para *E. Coli* em todas as coletas realizadas, o que também ocorreu na análise de coliformes totais. Tanto a norma de potabilidade quanto a norma de classificação de águas subterrâneas exigem a ausência de *E. Coli* em análises de 100mL.

Sousa e Cunha (2023), em seu estudo sobre a água subterrânea no município de Penaforte-CE, analisaram a água proveniente de poços artesianos em 5 distritos. Além das análises físico-químicas, os autores realizaram análises microbiológicas de coliformes totais e, por conseguinte, de *E. coli*, para a água na saída dos poços. Os resultados de ambos os parâmetros microbiológicos foram positivos para todos os poços estudados, indicando a contaminação fecal dos aquíferos.

A identificação de *E. Coli* nas amostras de água é indicação direta de contaminação fecal, ao contrário da detecção de coliformes totais, já que estes últimos abrangem um grupo amplo de bactérias que podem ocorrer naturalmente no ambiente.

A *E. Coli* é um tipo de coliforme termotolerante e, assim, faz parte da flora intestinal de seres humanos e animais de sangue quente, tornando-se um indicador essencial para verificar a contaminação de águas brutas e tratadas de maneira mais específica e direta.

4.4 Avaliação sanitária da zona de captação

A partir da visita *in loco*, observou-se que o trecho molhado do riacho Araibu adjacente ao ponto de captação apresentava uma coloração verde escuro. Esse fato pode estar relacionado à presença excessiva de algas em suspensão, como mostrado na Figura 45. Uma vez que não foram identificados indícios de atividade agrícola nas proximidades, essa ocorrência pode estar associada ao despejo de efluentes domésticos não tratados pelas edificações vizinhas.

Figura 45 – Trecho adjacente ao ponto de captação da SAC



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Foi constatada, além do aspecto da água, a presença de resíduos sólidos ao longo da borda da calha do riacho, ocupação irregular das faixas marginais por edificações e degradação da mata ciliar.

Em relação às condições sanitárias inadequadas, Oliveira (2022) afirma que o riacho Araibu é alvo de depósitos de lixo e entulho durante períodos de estiagem. É válido observar que o autor afirma que as obras de urbanização em alguns trechos do riacho melhoraram suas condições sanitárias. No entanto, ainda existem locais que possuem condições sanitárias inadequadas, como é o caso do trecho aqui discutido.

Nesse mesmo sentido, Correia (2022) conduziu um estudo para analisar trechos molhados do riacho Araibu. Na área abordada nesta pesquisa, a autora encontrou resultados positivos para *E. Coli* ao longo de todo o período de monitoramento do estudo, indicando a ocorrência de contaminação por despejo de efluentes domésticos *in natura* no riacho, uma vez que a *E. Coli* é um indicador direto de contaminação fecal.

4.5 Avaliação sanitária das instalações da SAC

No que diz respeito às instalações da SAC, foi observada a ausência de proteção das instalações de bombeamento e reservação, tornando-as facilmente acessíveis por animais e pessoas não autorizadas, devido à falta de um muro de alvenaria ou à presença de gradis adequados. Também foi observada a falta de manutenção de seus reservatórios e indícios da ausência de tratamento, tais como filtros para o tratamento básico da água distribuída.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi realizado com o propósito de contribuir para a segurança da saúde da população do município de Russas, ao identificar falhas nas atribuições do responsável pela SAC e da autoridade de saúde pública. Além disso, em conjunto com as pesquisas de Silva (2021) e Sousa (2021), contribuiu para o diagnóstico da desconformidade de sistemas e soluções de abastecimento na região do Baixo Jaguaribe.

5.1 Avaliação dos parâmetros

Os parâmetros analisados não apresentaram variações significativas ao longo dos meses de monitoramento, que ocorreram de agosto a dezembro. Entre os parâmetros que se mantiveram próximos aos valores médios, sem variações expressivas, destacam-se o pH, Alcalinidade Total, Cloretos e Dureza Total.

No entanto, a Turbidez apresentou um aumento de 0 a 3,6 UNT com coeficiente de variação de 124,65% em relação à média dos valores. Além disso, a condutividade elétrica e os STD apresentaram uma leve diminuição ao longo dos meses, todavia de maneira pouco expressiva. No que diz respeito aos parâmetros microbiológicos, eles indicaram resultados positivos para Coliformes Totais, assim como para *Escherichia coli* durante todo o período.

Ao comparar os valores obtidos neste estudo com os de outros trabalhos que avaliaram a qualidade das águas subterrâneas, constata-se que os valores dos parâmetros monitorados estão dentro do esperado. Em alguns casos, os valores são até melhores, o que indica uma melhor qualidade em relação às médias dos municípios cearenses no que tange à qualidade das águas brutas subterrâneas. Todavia, os resultados em relação às águas tratadas não foram adequados.

Em relação às condições microbiológicas, a presença de Coliformes Totais e *Escherichia coli* pode ocorrer de diferentes formas. A contaminação do manancial subterrâneo pode ocorrer através de descarte inadequado de resíduos sólidos na zona de captação, falta de esgotamento sanitário aliada à ocupação desordenada da APP do riacho Araibu, bem como pelo descarte de águas residuais domésticos *in natura* nos trechos molhados adjacentes ao ponto de captação de água subterrânea

Ademais, a contaminação microbiológica também pode ocorrer durante a realização dos procedimentos de operação e manutenção do poço da SAC, bem como no armazenamento e distribuição da água destinada ao consumo humano.

5.2 Padrão potabilidade

No que diz respeito à potabilidade, de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, os parâmetros de Turbidez, STD, pH, Cloretos, Dureza Total, Coliformes Totais e *E. Coli* são considerados dentre diversos outros. Durante o período dos cinco meses de monitoramento, observou-se que os parâmetros de STD, Cloretos, Dureza Total, Coliformes Totais e *E. Coli* estiveram fora dos padrões estabelecidos.

Em relação aos parâmetros que não estiverem em conformidade com os padrões de potabilidade durante a presente pesquisa, os parâmetros de STD, Cloretos e Dureza Total são definidos em norma como padrão organoléptico e não representam riscos imediatos à saúde do usuário. No entanto, os parâmetros microbiológicos apresentaram resultados positivos durante os cinco meses de monitoramento, o que representa um risco direto à saúde da população abastecida.

5.3 Identificação do uso preponderante da água

No que diz respeito a identificação do uso preponderante das águas subterrâneas, o Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008 considera, entre outros, os parâmetros de STD, Cloretos, Coliformes Totais e *E. coli*. Nesse contexto, observou-se que os parâmetros de Cloretos, Coliformes Totais e *E. coli* não estavam em conformidade com os padrões estabelecidos para uso preponderante para consumo humano.

De acordo com o referido Anexo I, as características hidrogeoquímicas da água analisada permitem classificá-la para usos preponderantes menos restritivos, como dessedentação de animais, irrigação e recreação. No caso desses usos, a Resolução mencionada permite a presença de Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, desde que realizado o ensaio de Número Mais Provável para quantificar tais microorganismos.

5.4 Ações para melhoria da zona de captação e instalações da SAC

Inicialmente, é necessário que, em conjunto com a autoridade de saúde pública, seja realizada uma inspeção das condições sanitárias na zona de captação das águas subterrâneas, a fim de implementar medidas de controle e ações corretivas em relação às fontes de poluição identificadas nesta pesquisa. Essas fontes incluem a presença de resíduos sólidos, possíveis descargas de efluentes domésticos sem tratamento prévio, dejetos de

animais e a possibilidade de descarga de efluentes de fossas sépticas devido à ocupação da área de preservação permanente do riacho Araibu.

No que diz respeito às instalações da SAC, conforme constatado nas visitas realizadas no local, é necessário realizar melhorias nas condições da estrutura de armazenamento, a fim de recuperar as áreas com deterioração estrutural. Além disso, é importante fortalecer as atividades de controle, como a limpeza periódica dos reservatórios, bem como realizar adequada operação do poço.

É válido ressaltar, ainda, a necessidade de proteger a área de armazenamento e bombeamento por meio da construção de estruturas de proteção, como gradis ou alvenaria, de modo a controlar o acesso de pessoas não autorizadas e/ou de animais.

5.5 Medidas corretivas para adequação da água para consumo

É necessário que haja uma ação mais efetiva por parte do poder público na fiscalização das instalações da SAC, a fim de garantir a manutenção da qualidade da água distribuída à população. Além disso, é importante realizar campanhas de conscientização junto à população sobre a importância de não descartar lixo e resíduos domésticos nas proximidades, para que os moradores das margens possam auxiliar nas ações de preservação ambiental.

Sugere-se, ainda, que o uso da água distribuída pela SAC seja imediatamente suspenso e retomado somente após tratamento prévio, por meio de filtração e desinfecção adequadas. A falta desse tratamento e a continuidade do fornecimento de água para consumo humano representam sérios riscos para a saúde da população atendida, especialmente no que se refere ao potencial de contrair doenças transmitidas por meio da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará.** Relatório Final. Brasília/DF: ANA, 2010.

ALMEIDA, Diego Gadelha de *et al.* Aquíferos Jandaíra-Açu (CE): pilhagem da água, conflitos e injustiça ambiental. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 14., 2021, Campina Grande. **Anais [...]** . Campina Grande: Realize, 2021. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/81895>. Acesso em: 10 dez. 2021.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 23 ed. Washington, DC: ALPHA, 2017.

BRAGA, Erika de Almeida Sampaio *et al.* Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 35, n. 2, 10 jul. 2021. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i2.30051>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30051>. Acesso em: 23 nov. 2022.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, DF, 08 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 03 ago. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília, DF, 25 de mai. de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 03 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. **Guia prático de inspeção sanitária em formas de abastecimento de água para consumo.** Brasília : Ministério da Saúde, 2021. 64 p. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_inspe%C3%A7%C3%A3o_sanit%C3%A1ria_abastecimento_agua.pdf. Acesso em: 8 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água.** 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em: 02 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 84 p. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/inspecao_sanitaria_abastecimento_agua.pdf. Acesso em: 8 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **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 e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 21 de maio de 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 05 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Relatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação**. Brasília: Ana, 2017. 88 p. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/c3c25b76-f711-41ea-a79e-c8d30c287e53>. Acesso em: 15 out. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf. Acesso em: 28 jul. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2022.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2021**. Brasília: IGBE, 2021. 119 p. Disponível em: <https://ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>. Acesso em: 13 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade[...]. Brasília, DF, 29 dez. 2000. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_1469.pdf. Acesso em: 8 ago. 2022.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS, 2019. 180 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2018>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CALEGAR, Deiviane Aparecida *et al.* Frequency and molecular characterisation of *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba dispar*, *Entamoeba moshkovskii*, and *Entamoeba hartmanni* in the context of water scarcity in northeastern Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, [S.L.], v. 111, n. 2, p. 114-119, 2 fev. 2016. FapUNIFESP (SCIELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0074-02760150383>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mioc/a/HsB6y9mXpZbMgWNSZmdHRwd/?lang=en#>. Acesso em: 04 nov. 2022.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa Estratégica Econômica do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. **Panorama socioeconômico das regiões de planejamento do Estado do Ceará.** Fortaleza: IPECE, 2017. 339 p. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Livro_Panorama_Regioes_Planejamento_Ceara_2017.pdf. Acesso em: 20 dez. 2022.

CEARÁ. Secretaria das Cidades. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Relatório anual da qualidade da água.** 2019. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/documentos-publicacoes/relatorios/>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CEARÁ. Secretária das Cidades. **Elaboração do Plano Diretor Municipal com o de Mobilidade Urbana para Jaguaruana e Quixeré; e a revisão/complementação do Plano Diretor Municipal, incluindo o de Mobilidade Urbana dos municípios de Massapê, Santana do Acaraú, Irauçuba, Russas, Morada Nova, Limoeiro do Norte, Tabuleiro do Norte e Jaguaribe.** Fortaleza, 2018. 177 p. Disponível em: <https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Plano-Diretor-de-Santana-do-Acara%C3%BA-Relat%C3%B3rio-Final.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Gestão Participativa dos Aquíferos da Bacia Potiguar.** Fortaleza: COGERH, 2009. 336 p. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/coletanea2010/Plano-Gestao-Participativa-Aquiferos-Bacia%20Potiguar.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2022.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Índices de aridez do estado do Ceará.** 2017. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=5826. Acesso em: 10 dez. 2022.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Postos Pluviométricos.** 2020. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 16 jan. 2023.

CORREIA, Bianca de Souza. Monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos do riacho Araibu no município de Russas-CE. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/67482>. Acesso em: 16 dez. 2022.

EUROPEAN UNION. European Drinking Water. **The European Drinking Water Industrial Alliance Views on the Recast of the Drinking Water Directive.** Brussels: EDW, 2018. 4 p. Disponível em: https://www.europeandrinkingwater.eu/fileadmin/edw/position_papers/October18-EDW-Position_Paper_Recast_DWD.pdf. Acesso em: 02 fev. 2023.

FITTS C.R. **Groundwater science.** São Diego, California: Academic Press; 2002.

HELLER, Léo. **Saneamento e saúde.** Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde / Organização Mundial da Saúde, 1997. 102 p. Disponível em: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/10/728113/196931-s_saneamento_saude_1997_port.pdf. Acesso em: 25 jul. 2022.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2006. 428 p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2022**. 14. ed. São Paulo: ITB, 2022. 139 p. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2022/>. Acesso em: 4 dez. 2022.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade de tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2005. 444 p.

MORAIS, Lúcia *et al.* Análise das águas subterrâneas nos municípios do Médio e Baixo Jaguaribe: mapeamento e estimativa da disponibilidade atual. **Revista Ciência Agronômica**: Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 34-43, 26 nov. 2004. Trimestral. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83606>. Acesso em: 04 nov. 2022.

NASCIMENTO, Francisco Jonathan de Sousa Cunha *et al.* Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da microrregião do Baixo Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 1, 2021.

NOBRE, Maria Elisângela da Silva *et al.* ESTUDO HIDROQUÍMICO-AMBIENTAL DO AQUÍFERO ALUVIONAR DO BAIXO JAGUARIBE, ITAIÇABA – CEARÁ. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 39, ed. 3, p. 77-92, 2018.

OLIVEIRA G. *et al.* Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental no espaço urbano de Russas, Ceará, Brasil: Uma integração de dados sociodemográficos e ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 04, p. 1800-1814, 2022.

OLIVEIRA, Renan da Costa. **Avaliação do aquífero cárstico Jandaíra na região de Baraúna, Rio Grande do Norte**. 2016. 128f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/22584>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SILVA, F. J. A; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, 2007.

SILVA, Luciano de Oliveira. **Análise da qualidade da água subterrânea para abastecimento público**: estudo de caso na comunidade Alto do ferrão, em Itaiçaba-CE. 2021. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2021.

SOUZA, Francisco das Chagas; CUNHA, Maria Lucicleide Dias. Análise físico-química e microbiológica de águas subterrâneas de povoados do município de Penaforte (Ceará). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, 2023.

SOUZA, J. L. A produção do espaço e da habitação: o programa minha casa, minha vida em Russas - Ceará. In: XV SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 15., 2017, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Grupo Espaço Livre de Pesquisa-Ação.

SOUSA, Luciana Cavalcante de. **Análise da qualidade da água de abastecimento da sede do município de Morada Nova/CE**. 2021. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2021

SOUZA FILHO, Francisco de Assis. **Estudo Setorial Especial: recursos hídricos**. Fortaleza: Ceará 2050, 2018.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. S. P. **Qualidade da água subterrânea**. Porto Alegre: IPH/UFRGS; Recife: CT/UFPE, 2003. 53 p.

UNITED NATIONS. General Assembly. **Resolution A/RES/64/292**. The human right to safe drinking water and sanitation. Nova York, NY, 28 de jul. de 2010. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/687002>. Acesso em: 15 dez. 2022.

UNITED STATES. Public Health Service. **Community water supply study: significance of national findings**. Springfield: National Technical Information Service, 1970. 17 p. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100FXNT.PDF?Dockey=9100FXNT.PDF>. Acesso em: 02 dez. 2022.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 243p.

ZOBY, José Luiz Gomes. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **Anais [...]**. Natal: ABAS, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23802>. Acesso em: 9 nov. 2022.