

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO  
HUMANO NA ZONA RURAL DE HUMAITÁ-AM**

**RIZONEIDE SOUZA FAUSTINO**

Humaitá-AM  
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO  
HUMANO NA ZONA RURAL DE HUMAITÁ-AM**

**RIZONEIDE SOUZA FAUSTINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

**Orientador:** Prof. Dr. DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA

Humaitá-AM  
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

F268q      Faustino, Rizioneide Souza  
Qualidade da água destinada ao consumo humano na zona rural de  
Humaitá-AM / Rizioneide Souza Faustino. - 2025.  
58 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Douglas Marcelo Pinheiro da Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa  
de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Humaitá-AM, 2025.

1. Qualidade da água. 2. Consumo humano. 3. Águas subterrâneas. 4.  
Zona rural. 5. Saneamento básico. I. Silva, Douglas Marcelo Pinheiro da.  
II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais. III. Título

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO NA ZONA RURAL  
DE HUMAITÁ-AM** (Linha de pesquisa 1: – Componentes e dinâmicas dos ecossistemas com  
ênfase no bioma amazônico)

**RIZONEIDE SOUZA FAUSTINO**

Dissertação defendida e aprovada em 04 de julho de 2025, pela comissão julgadora:

*Douglas M. P. da Silva*

---

Prof. Dr. Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
PPGCA-IEAA/UFAM - Orientador / Membro Titular Interno



---

PPGCA-IEAA/UFAM- Pof. Dr. José Maurício da Cunha/ Membro Interno

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MARCELO DAYRON RODRIGUES SOARES  
Data: 31/07/2025 15:13:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

IEAA/UFAM- Prof. Dr. Marcelo Dayron Rodrigues Soares/ Membro externo

## DEDICATÓRIA

*A Deus pela vida; às minhas filhas Nicolle Lara e Elis Maria, por serem a razão pela qual procuro ser uma pessoa melhor todos os dias; por serem meu principal incentivo em buscar evoluir em todos os sentidos da vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sustentar-me todos os dias; por me conceder saúde e força para superar as dificuldades, pois sei que a caminhada é longa, mas seu amor e sua misericórdia dura para sempre!

À minha família, pelo apoio e incentivo. A minha família é meu bem mais precioso! É a minha base, a minha razão de viver.

Ao meu orientador Prof. Dr. Douglas Marcelo Pinheiro da Silva e ao meu coorientador prof. Dr. Benone Otávio Souza de Oliveira, por todo apoio na realização desta pesquisa, por desempenhar tais funções com dedicação e comprometimento. Obrigada pelas orientações e tempo disponibilizado no desenvolvimento deste trabalho.

Ao apoio concedido pelo Laboratório de Pedobiologia-UFAM, em especial, a Engenheira Ambiental Miquele Araújo, prof. Dr. Renato Francisco da Silva Souza e o Engenheiro Ambiental Railam Xavier Correia, pela colaboração na pesquisa de campo, sendo essenciais na coleta de dados para este trabalho. A vocês minha eterna gratidão!

Agradeço à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), pela oportunidade em realizar um curso de nível de mestrado sem precisar sair da cidade em que resido.

Agradeço em especial a FAPEAM pela concessão de bolsa, sendo essencial para a realização desta pesquisa.

Agradeço a todos os docentes do PPGCA-UFAM, pelos ensinamentos e conhecimentos adquiridos.

À minha amiga Engenheira Ambiental Dayana Bitencourt, por toda parceria. Uma pessoa fundamental nessa trajetória. Minha eterna gratidão!

Ao apoio dos técnicos do Laboratório de Engenharia Ambiental, Harumy Noguchi, José Frozzi, e também, agradeço pelo apoio do mestre em Ciências Ambientais Romário Martins, no processo de realização das análises das amostras coletadas.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

## SUMÁRIO

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE QUADROS E TABELAS .....</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>  | <b>x</b>    |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>xii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>14</b>   |
| 1.1 JUSTIFICATIVA.....   | 15          |
| 1.2 HIPÓTESE.....  | 15          |
| 1.3 OBJETIVOS .....  | 16          |
| 1.3.1 Geral .....  | 16          |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....   | 16          |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>16</b>   |
| 2.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS.....   | 16          |
| 2.2 QUALIDADE DA ÁGUA E SAÚDE PÚBLICA .....  | 17          |
| 2.2.1 Parâmetros de qualidade da água.....   | 17          |
| 2.2.2 Doenças de veiculação hídrica.....   | 21          |
| 2.3 SEGURANÇA HÍDRICA EM ÁREAS RURAIS .....  | 24          |
| 2.4 POLÍTICAS PÚBLICAS .....   | 25          |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>   | <b>27</b>   |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO.....  | 27          |
| 3.2 PROCESSO METODOLÓGICO .....  | 29          |
| <b>4 REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>30</b>   |
| <b>CAPÍTULO I .....</b>  | <b>37</b>   |
| <b>AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BACTERIOLÓGICOS DA</b><br><b>ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO NO DISTRITO DE AUXILIADORA,</b><br><b>HUMAITÁ-AM .....</b> | <b>37</b>   |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>37</b>   |
| <b>2 METODOLOGIA .....</b>   | <b>38</b>   |
| 2.1 COLETA DE DADOS .....  | 38          |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>39</b>   |
| <b>4 CONCLUSÕES .....</b>  | <b>46</b>   |
| <b>5 REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>47</b>   |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>  | <b>49</b>   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (IQNAS) NO DISTRITO DE AUXILIADORA, ZONA RURAL DE HUMAITÁ-AM.....</b> | <b>49</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>2 METODOLOGIA .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>53</b> |
| <b>4 CONCLUSÕES .....</b>  | <b>56</b> |
| <b>5 REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>58</b> |



## LISTA DE QUADROS E TABELAS

|  |       |
|--|-------|
| <b>Quadro (1):</b> Doenças de Veiculação Hídrica.....  | 22-23 |
| <b>Quadro (2):</b> Doenças de veiculação hídrica no Brasil.....  | 23-24 |
| <b>Quadro (3):</b> Procedimentos adotados para as análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água..... | 39    |
| <b>Tabela (1):</b> Descrição das coordenadas geográficas dos pontos de coleta.....                                     | 28    |
| <b>Tabela (2):</b> Coleta de dados.....  | 38    |
| <b>Tabela (3):</b> Parâmetros físicos da água coletada no distrito de Auxiliadora.....                                 | 40    |
| <b>Tabela (4):</b> Parâmetros químicos da água coletada no distrito de Auxiliadora.....                                | 41    |
| <b>Tabela (5):</b> Parâmetros bacteriológicos da água coletada no distrito de Auxiliadora.....                         | 42    |
| <b>Tabela (6):</b> Valores Máximos Permitidos (VMP) para os parâmetros físico-químicos.....                            | 43    |
| <b>Tabela (7):</b> Equações Matemática da Qualidade versus Concentração do parâmetro.....                              | 50-51 |
| <b>Tabela (8):</b> Concentrações dos parâmetros analisados e respectivos valores utilizados para o cálculo do Qi.....  | 51-52 |
| <b>Tabela (9):</b> Faixa de classificação do IQNAS.....  | 52-53 |
| <b>Tabela (10):</b> Valores de Qi para os parâmetros analisados em cada amostragem.....                                | 53-54 |
| <b>Tabela (11):</b> Classificação final da qualidade da água com base no IQNAS no distrito de Auxiliadora.....         | 55    |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura (1):</b> Área de estudo.....   | 28 |
| <b>Figura (2):</b> Variação da média do pH da água coletada no distrito de Auxiliadora.....  | 44 |
| <b>Figura (3):</b> Variação temporal da ocorrência de parâmetros bacteriológicos nas campanhas de coleta no distrito de Auxiliadora..... | 45 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

|           |   |
|-----------|---|
| SNIS-     | Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento   |
| ODS-      | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável          |
| ONU-      | Organização das Nações Unidas                     |
| ANA-      | Agência Nacional de Água                          |
| IBGE-     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.  |
| FIOCRUZ - | Fundação Instituto Oswaldo Cruz                   |
| FUNASA -  | Fundação Nacional de Saúde                        |
| AM-       | Amazonas  |
| pH-       | Potencial Hidrogeniônico                          |
| IQNAS-    | Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas |
| SENAR-    | Serviço Nacional de Aprendizagem Rural            |
| CETESB-   | Centro Tecnológico de Saneamento Básico           |
| WHO-      | World Health Organization                         |
| CONAMA-   | Conselho Nacional do Meio Ambiente                |
| APHA-     | American Public Health Association                |

## RESUMO

FAUSTINO, R. S. **Qualidade da água destinada ao consumo humano na zona rural de Humaitá-AM**. 2025. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas.

O acesso universal à água de qualidade representa um desafio significativo para a sociedade em geral, principalmente em áreas remotas, como áreas rurais, onde a ausência de infraestrutura de saneamento básico expõe a população a riscos associados ao consumo de águas subterrâneas não tratadas. Nesse contexto, este estudo avaliou a qualidade da água subterrânea destinada ao consumo humano no distrito de Auxiliadora, zona rural do município de Humaitá-AM, considerando aspectos físico-químicos, bacteriológicos e o Índice Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS). A pesquisa foi motivada pela ausência de infraestrutura de saneamento básico e pelo uso direto de fontes subterrâneas, sem tratamento, pela população local. O objetivo geral consistiu em avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano na zona rural de Humaitá-AM, tendo como objetivos específicos: determinar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água, comparar os resultados com a legislação vigente e aplicar o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) como ferramenta de classificação da qualidade da água, proposto por Oliveira *et al.* (2007). Foram realizadas três campanhas de coletas, nos meses de agosto/2023, novembro/2023 e março/2024 em dez pontos de amostragens, com análise de parâmetros como pH, nitrato, cloreto, fluoreto, dureza, sólidos totais, entre outros, além da investigação da presença de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*. Os resultados apontaram que, embora o pH tenha apresentado valores inferiores ao recomendado, indicando acidez na água consumida pelos moradores do distrito, os demais parâmetros analisados mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 e pela Resolução CONAMA nº 396/2008. No tocante, à qualidade bacteriológica, houve detecção de contaminação fecal pontual, especialmente na terceira campanha, demonstrando a influência da sazonalidade na qualidade da água. A aplicação do IQNAS classificou a água em todos os pontos analisados como de qualidade “ótima”, evidenciando que, apesar das limitações observadas em parâmetros isolados, o conjunto de indicadores avaliados contribuiu para uma boa condição geral do recurso hídrico. O estudo conclui que, embora existam riscos específicos, a qualidade da água no distrito de Auxiliadora é, em geral, satisfatória, desde que monitorada regularmente.

**Palavras-chave:** Águas subterrâneas, IQNAS, meio rural

## ABSTRACT

FAUSTINO, R. S. **Water quality intended for human consumption in the rural area of Humaitá-AM.** 2025. 58 p. Dissertation (Master's in Environmental Sciences) – Institute of Education, Agriculture and Environment, Federal University of Amazonas.

Universal access to safe and high-quality water remains a significant challenge for society, especially in remote areas such as rural regions, where the lack of basic sanitation infrastructure exposes the population to risks associated with the consumption of untreated groundwater. In this context, this study evaluated the quality of groundwater intended for human consumption in the district of Auxiliadora, a rural area of the municipality of Humaitá-AM, considering physicochemical, bacteriological aspects, and the application of the Natural Groundwater Quality Index (IQNAS). The research was motivated by the absence of sanitation infrastructure and the local population's direct use of untreated underground water sources. The general objective was to assess the quality of water intended for human consumption in the rural area of Humaitá-AM, with specific objectives including: determining the physicochemical and bacteriological parameters of the water, comparing the results with current legislation, and applying the IQNAS as a classification tool for water quality, as proposed by Oliveira et al. (2007). Three sampling campaigns were carried out in August 2023, November 2023, and March 2024, across ten sampling points. Parameters such as pH, nitrate, chloride, fluoride, hardness, total solids, among others, were analyzed, in addition to testing for the presence of total coliforms, thermotolerant coliforms, and *Escherichia coli*. The results showed that although pH levels were below the recommended range—indicating water acidity—the remaining parameters complied with the limits established by Ordinance GM/MS nº 888/2021 and CONAMA Resolution nº 396/2008. Regarding bacteriological quality, fecal contamination was detected at specific points, especially during the third campaign, highlighting the influence of seasonality on water quality. The application of IQNAS classified the water at all analyzed points as having “excellent” quality, indicating that despite limitations in isolated parameters, the overall set of indicators contributed to a favorable assessment of the water resource. The study concludes that, although specific risks exist, the water quality in the district of auxiliadora is generally satisfactory, provided that regular monitoring is ensured.

**Keywords:** Groundwater, IQNAS, rural area

## 1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a sobrevivência de todas as formas de vida, desempenhando diversos papéis importantes, sendo utilizada na produção, tem um papel estratégico no crescimento econômico e é essencial para garantir o equilíbrio dos ecossistemas, mantendo os ciclos biológicos, geológicos e químicos em funcionamento adequado (Camargo, 2022).

Segundo Moreira *et al.* (2021) a importância da água para a vida humana faz dela um assunto atual e de interesse político, sendo alvo de atenção da sociedade civil, dos governos em todas as esferas por meio de iniciativas e projetos, de organizações internacionais e do setor privado em âmbito mundial.

Considerando a importância da segurança hídrica, a disponibilidade de água de excelente qualidade e em quantidade adequada para a população é essencial, tornando-se um assunto de nível global, a qual a ONU (Organização das Nações Unidas) em 2015, lançou os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) onde todos tem o direito a um futuro seguro, sendo o ODS 6, “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água a todos até 2030 (Arora; Mishra, 2022)”.

Embora, a água seja necessária para praticamente todas as atividades humanas, atualmente há muitos problemas relacionados com a quantidade e qualidade desse precioso recurso natural (Silva *et. al.*, 2014).

Neste cenário, as alterações que ocorrem no meio ambiente provocado pelo crescimento populacional, afetam a qualidade das características físicas, químicas e biológicas da água, oriundos do lançamento *in natura* de efluentes domésticos e resíduos sólidos, pela falta de infraestrutura urbana e outros (Santos *et al.*, 2019).

Em relação a qualidade de água em ambientes rurais, Carvalho *et al.* (2017) e Cunha *et al.* (2020) destacaram que na zona rural os serviços e indicadores de saneamento básico é precário, inexistente ou defasado, podendo acarretar alterações em alguns parâmetros físico-químicos e biológicos da água.

Esta conjuntura no meio rural, faz com que se busque tecnologias simplificadas, como a utilização de água provenientes de poços administrados pela própria comunidade ou de forma individual (Cunha *et al.*, 2020), essas fontes são suscetíveis à contaminação, o que pode desencadear doenças de veiculação hídrica (Paiva; Souza, 2018).

De acordo com Scalize *et al.* (2021) e Lima *et al.* (2022), a população rural procura outras fontes de água devido à cobertura inadequada dos serviços de abastecimento de água, resultando em má qualidade de vida, saúde e bem-estar para a comunidade.

Desse modo, no meio rural, faz-se necessário o monitoramento contínuo da qualidade da água por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, crucial para o equilíbrio ambiental e a promoção da saúde pública (Miranda *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*; 2022).

Ademais, monitorar a qualidade da água em áreas rurais é importante, uma vez que ela está sujeita às condições climáticas como a sazonalidade dos recursos hídricos, variando entre períodos de cheias, secas e de transição, podendo resultar em inundações atípicas, secas severas e prolongadas (WHO, 2017; Brasil, 2014).

Visando tornar mais conciso os resultados desta pesquisa, optou-se por segmentar este trabalho em dois capítulos. O primeiro capítulo aborda sobre a avaliação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água consumida pelos moradores do distrito de Auxiliadora, apresentando os resultados obtidos e discutindo os principais achados. O segundo capítulo é dedicado à determinação do IQNAS (Índice de qualidade Natural das Águas Subterrâneas), com o objetivo de classificar a água utilizada pelos moradores locais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Na literatura científica é possível observar estudos na área urbana do município de Humaitá-AM que apontaram ausência de sistema de coleta e tratamento de esgotamento sanitário; ausência de água tratada para consumo; alteração da qualidade da água subterrânea e superficial decorrentes da atividade antrópica, corroborando com os estudos do lançamento de efluentes líquidos e/ou fertilizantes agrícolas (Oliveira *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020).

Considerando a importância de assegurar o acesso à água potável para consumo humano, a presente pesquisa justificou-se pelas lacunas existentes no conhecimento no que diz respeito à avaliação da qualidade da água, principalmente em regiões remotas como às comunidades rurais no estado do Amazonas, onde os indicadores de saneamento básico são escassos, o que pode acarretar efeitos diretos na saúde e bem-estar da população.

## 1.2 HIPÓTESE

A sazonalidade influencia na qualidade da água subterrânea no meio rural, pois o lançamento de efluentes líquidos diretamente no solo, atinge o lençol freático em períodos de precipitação elevada solo.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Geral

Avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano na zona rural de Humaitá-AM.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar os parâmetros físico-químicos (pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais, cloreto, fluoreto, dureza, sulfato, ferro total, amônia, nitrato, nitrito, fósforo, cor, turbidez, condutividade elétrica, temperatura) e bacteriológicos (coliformes totais e termotolerantes e *Escherichia coli*) da água consumida pelos comunitários;
- Comparar a qualidade da água segundo a legislação vigente;
- Determinar o (Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas-IQNAS).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS

Nas áreas rurais, aproximadamente 65% das residências são abastecidas com água de poços rasos, cacimbas, rios e córregos, na maioria dos casos sem nenhum tratamento prévio (SENAR, 2019).

Essas fontes de abastecimento são altamente suscetíveis à contaminação e colocam em risco a saúde das populações locais, onde a falta de controle da qualidade da água contribui para a disseminação de doenças de veiculação hídrica (Paiva; Souza, 2018).

Além dessa questão, diversos outros fatores podem afetar a qualidade das águas subterrâneas, como fossas negras, sistemas de esgoto inadequados, descarte inadequado de resíduos, atividades agrícolas, como a utilização de agrotóxicos no preparo do solo, podem impactar negativamente na qualidade das águas subterrâneas (Silva *et al.*, 2014; Boldrin; Cutrim, 2014).

O recurso água é um dos principais meios de proliferação de agentes patogênicos junto a saúde pública, assim, visando atender os padrões sanitários foi promulgada a Portaria do Ministério da Saúde nº 888 de 2021 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2021).

A portaria nº 888/2021, estabelece os parâmetros de qualidade para a água potável, os quais são rigorosos, sendo determinada por um conjunto de padrões e especificações definidos



pela portaria, como forma de garantir a pureza da água e preservar condições seguras e livres de componentes nocivos para a saúde humana (Montalvão *et al.*, 2023).

De acordo com Pantoja *et al.* (2021) e Oliveira *et al.* (2018) a pureza da água é essencial para a vida humana e para o equilíbrio de um ecossistema, e ao analisar os componentes físico-químicos e microbiológicos, é possível avaliar a saúde ambiental de uma determinada bacia hidrográfica, e consequentemente de uma região específica.

A vigilância contínua das águas é fundamental para uma administração eficaz direcionada ao saneamento básico e à promoção da saúde da população, e deve ser utilizada para incentivar a implementação de políticas que tenham como objetivo fornecer água de qualidade adequada (Fortes, 2020).

## 2.2 QUALIDADE DA ÁGUA E SAÚDE PÚBLICA

A qualidade da água para consumo está intrinsecamente associada com a saúde humana, uma vez que diversas doenças se propagam em razão da presença de microrganismos patogênicos e a falta de tratamento adequado, tornando-se assim um problema de saúde pública (Silva Reis, 2022).

### 2.2.1 Parâmetros de qualidade da água

A qualidade da água é determinada por meio de testes de parâmetros físicos, químicos e biológicos para avaliar sua segurança para consumo e uso (Shah, 2017).

Os parâmetros físicos da água são as características relacionadas às propriedades físicas que podem afetar sua qualidade e potencial para utilização em diferentes fins. A cor, turbidez, níveis de sólidos em suas várias frações, temperatura, condutividade elétrica, sabor e odor estão entre os parâmetros usados para descrever fisicamente as águas naturais (Omer, 2019).

Nogueira *et al.* (2015) mencionam que embora esses parâmetros sejam físicos, eles fornecem informações preliminares que são cruciais para caracterizar a qualidade química da água, como as concentrações de sólidos suspensos (associados à turbidez) e sólidos dissolvidos (associados à cor) e outros.

A temperatura é um parâmetro físico da água importante que mede a intensidade do calor e determina a saúde geral dos ecossistemas aquáticos, afeta a sua densidade, viscosidade, tensão superficial, solubilidade de gases e reação química com substâncias presentes em sua composição e acelera o crescimento de algumas comunidades aquáticas, resultando no aumento do consumo de oxigênio dissolvido (Shah, 2017; Raimi *et al.*, 2022).

A cor da água nem sempre é um indicativo de que a água não é segura para o consumo, porém, é questionável por razões estéticas referente a sua qualidade (Shah, 2017). Por outro lado, a cor pode indicar a presença de substâncias orgânicas, como matéria orgânica dissolvida ou algas, e ou inorgânicas, como óxidos de ferro e manganês (Lopes, 2019).

A turbidez mede a quantidade de partículas sólidas suspensas na água, como argila, areia, lodo e outros sólidos (Libânio, 2016). Essas partículas reduzem a transparência da água para a luz, tornando-a turva ou opaca (Nogueira *et al.*, 2015). A turbidez pode afetar a qualidade da água, a eficiência dos processos de tratamento e a capacidade de suporte dos ecossistemas aquáticos (Omer, 2019).

Os sólidos decorrem na água em solução ou em suspensão (Omer, 2019). O teor total de sólidos presentes nas águas refere-se a qualquer material que permanece como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura predeterminada por um período de tempo definido (Shah, 2017).

O Total de Sólidos (TS) presente na água é igual ao Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) mais o Total de Sólidos Suspensos (TSS) (Omer, 2019). Sólidos em suspensão podem ser definidos como partículas que podem ser retidas por processos de filtração e que se subdivide em sedimentáveis e não sedimentáveis, e os sólidos dissolvidos são constituídos por partículas com diâmetros inferiores a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e que permanecem em solução após a filtração (Nogueira *et al.*, 2015).

A condutividade elétrica é definida como a capacidade de uma substância ou solução de conduzir corrente elétrica, geralmente medida em Siemens por metro (S/m), microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm) (Nogueira *et al.*, 2015; Omer, 2019).

A condutividade está relacionada com o número e mobilidade de íons livres presentes na solução. Soluções que têm um elevado número de íons livres, bem como soluções que possuem uma alta temperatura ou pressão, apresentam uma alta condutividade elétrica (Dias, 2017).

Os parâmetros químicos da água são as características ligadas às propriedades químicas da água, que podem afetar sua qualidade e usabilidade, sendo os mais comumente usados para caracterizar a qualidade da água incluem, entre outros, pH, oxigênio dissolvido, fósforo, dureza e cloretos (Omer, 2019). Esses parâmetros avaliam o conteúdo orgânico, a força iônica, gases dissolvidos, nutrientes, presença de compostos orgânicos sintéticos, e outros (Nogueira *et al.*, 2015).

O pH (potencial Hidrogênio) é um dos parâmetros mais importantes da qualidade da água (Omer, 2019). Ele apresenta o equilíbrio entre os íons  $H^+$  e  $OH^-$ , ou a intensidade das condições ácidas e alcalinas do meio, sua escala antilogármica varia de 0 a 14, com valores menores que 7 ( $pH < 7$ ) indicando acidez, valores iguais a 7 ( $pH = 7$ ) indicando neutralidade e valores maiores que 7 ( $pH > 7$ ) indicando alcalinidade (Shah, 2017).

Em cursos hídricos, o pH tem impacto na composição química da solução e pode indicar contaminação por efluentes industriais, bem como proliferação de algas [...], níveis de pH excessivamente altos ou baixos podem ser prejudiciais ao uso da água (Von Sperling, 2014).

O termo oxigênio dissolvido (OD) refere-se ao oxigênio molecular ( $O_2$ ) dissolvido em água, sendo crucial para a vida aquática (Naveedullah *et al.*, 2016).

O oxigênio é necessário para a sobrevivência, e portanto, tem um valor distinto de outros parâmetros de qualidade da água, pois afeta diretamente a longevidade da biodiversidade aquática (Kader *et al.*, 2023).

A concentração de OD nos cursos d'água é influenciada pela temperatura, pressão atmosférica, salinidade, atividade biológica, características hidráulicas (como a presença de corredeiras ou cachoeiras) e, indiretamente, interferências antagônicas, como o lançamento de efluentes nos cursos d'água (Nogueira *et al.*, 2015).

O cloreto ocorre de forma natural em águas subterrâneas, rios e lagos (Shah, 2017), produz um sabor salgado na água, sendo o mais restrito, o cloreto de sódio que produz sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L; no caso do cloreto de cálcio, o sabor só é detectável em concentrações acima de 1000 mg/L (Omer, 2019).

A concentração do ânion cloreto ( $Cl^-$ ) determina a qualidade da água, onde concentrações em torno de 250 mg/L ou mais pode indicar a poluição de águas residuais, restringindo o uso da água natural para diversos fins (domésticos, agrícolas, industriais e outros) (Shah, 2017).

A concentração de fluoreto é um fator a ser considerado na avaliação da qualidade da água potável, seja pelo potencial de prevenir a cárie dentária em níveis adequados, seja pelo potencial de causá-la em níveis mais elevados (Frazão *et al.*, 2011; CETESB, 2022).

Para o abastecimento público de água, os níveis máximos permitidos de flúor depende do clima local, em que a quantidade máxima de flúor permitida nas regiões mais quentes do país é de 1,4 mg/L; em climas com temperaturas amenas, é permitido até 2,4 mg/L (Omer, 2019).

A dureza da água é uma medida da quantidade de metais alcalinos na água, principalmente cálcio (Ca) e magnésio (Mg) decorrentes da dissolução de rochas e minerais, expresso em mg/L como carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Solís-Castro *et al.*, 2018).

Há dois tipos de dureza: a dureza temporária e a dureza permanente. A dureza temporária é causada por carbonatos e bicarbonatos, pode ser eliminada por evaporação, enquanto a dureza permanente que persiste após uma fervura, é causada principalmente por sulfatos e cloretos (Omer, 2019).

Nitrato e Nitrito ocorrem nos ambientes terrestres e aquáticos como parte do ciclo biogeoquímico do nitrogênio (N) (CETESB, 2022). Nas águas, por meio do processo de nitrificação a amônia é transformada (oxidada) por bactérias para nitrito ( $\text{NO}^{-2}$ ) e a seguir para nitrato ( $\text{NO}^{-3}$ ). Em altas concentrações esses compostos estão vinculados à incidência de doenças e problemas ambientais (Fabris *et al.*, 2020).

É um elemento químico presente em diversas formas na água, desde fósforo, ortofosfato, polifosfato, entre outros (Von Sperling, 2014). É essencial para plantas e animais, porém em altas concentrações nas águas superficiais causam prejuízos, como o processo de eutrofização fazendo com que as algas e plantas aquáticas cresçam com rapidez prejudicando a qualidade da água (Santos, 2018).

O sulfato entra nas águas subterrâneas através principalmente da dissolução de solos e rochas e pela oxidação dos sulfetos. O aumento da concentração dos ânions sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) piora algumas características físicas da água (sabor, cheiro e etc.) e, pode provocar efeito laxante nos seres humanos (Vasconcelos; Oliveira, 2018).

O ferro é um metal abundante na crosta terrestre e tem o potencial de poluir cursos d'água devido à lixiviação de solos e rochas cristalizadas (Pantoja, 2020). As formas mais comuns de substâncias ferrosas em águas naturais são bicarbonato ferroso ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ), hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) e sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) (Do Carmo, 2016).

Quase todas as águas contêm ferro, mas quando a concentração está acima de 0,5 mg/L, tem algumas características físicas alteradas (cor, turbidez, cheiro e sabor), e pode levar a implicações operacionais (depósitos, incrustações, aparecimento de bactérias ferruginosas perigosas nas redes de distribuição), bem como danos à saúde humana (insuficiência cardíaca, diabetes, cirrose e tumores hepatocelulares) (Shalini Chaturvedi; Dave, 2012).

A amônia total, também conhecida como nitrogênio amoniacal total, refere-se à combinação das formas iônica ( $\text{NH}_4^+$ ) e molecular ( $\text{NH}_3$ ) a forma mais venenosa da amônia,

sendo importante distinguir entre as duas quando se trata de toxicidade, que ocorre quando a quantidade do oxigênio é baixa e do CO<sub>2</sub> é alta (Gonçalves, 2011).

A alcalinidade é definida como a capacidade da água natural de neutralizar o ácido adicionado a ela, ou seja, é a quantidade de ácido necessária para atingir um pH específico (pH = 4,3 a 4,8) (Shah, 2017).

Os parâmetros bacteriológicos são testes realizados em amostras de água para detectar a presença de bactérias e determinar seus níveis de concentração para consumo seguro (SPlabor, 2023). Entre os principais parâmetros bacteriológicos analisados na água estão os coliformes totais e termotolerantes e a *Escherichia coli*.

Os coliformes totais são bactérias que pertencem à família *Enterobacteriaceae* e são utilizados como indicadores, pois têm a capacidade de se alimentar de lactose, ao contrário de outras bactérias que se alimentam apenas de glicose (Araújo, 2017).

Os coliformes termotolerantes são um subgrupo de bactérias do grupo coliforme que digerem a lactose a 44,5±0,2 °C em 24 horas, sendo a *Escherichia coli* a principal representante, mas também fazem parte do grupo algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* que não são de origem fecal (Bortoli, 2016).

A *Escherichia coli* é a bactéria primária do subgrupo dos coliformes termotolerantes, de origem puramente fecal, encontrada em um grande número nas fezes humanas e animais, raramente é detectada na ausência de poluição fecal (Silva *et al.*, 2017).

Tradicionalmente é utilizada para avaliar a qualidade microbiológica da água, e continua sendo um parâmetro significativo no monitoramento e vigilância, uma vez que a água destinada ao consumo humano não deve conter microrganismos que indiquem contaminação fecal (Gurgel *et al.*, 2020).

A pureza da água é essencial para a vida humana e para o equilíbrio de um ecossistema, e ao analisar os componentes físico-químicos e microbiológicos, é possível avaliar a saúde ambiental de uma determinada bacia hidrográfica, e consequentemente de uma região específica (Pantoja *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2018).

### **2.2.2 Doenças de veiculação hídrica**

A poluição da água é uma questão ambiental de extrema relevância que afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas, principalmente aquelas em situação de vulnerabilidade e em áreas com poucos recursos (Paiva, 2018).

Essa conjuntura é intensificada pela falta ou a inadequação na oferta dos serviços de saneamento básico resultando na propagação de diversas doenças transmitidas pela água[...], sendo crianças, adolescentes e idosos os mais vulneráveis a serem acometidos por essas enfermidades (Uhr, 2016).

As doenças de veiculação hídrica ocupam a segunda posição no ranking das principais causas de óbito em crianças em âmbito global, sendo superadas apenas pelas doenças respiratórias (Moura, 2016).

É importante destacar que em 2019, ocorreram 2.734 mortes no Brasil em decorrência de doenças transmitidas pela água, resultando em uma média diária de 7,4 mortes de pessoas infectadas devido à falta de água tratada e exposição a esgotos a céu aberto (Carlos, 2021).

Este contexto, no Amazonas, onde as cidades apresentam infraestrutura de saneamento precário, somados às mudanças nos níveis dos rios, que se alternam entre períodos de seca e cheia, contribuem para a contaminação da água utilizada nas residências, levando a propagação de diversas doenças, entre elas Hepatite A, febre tifoide, diarreia e amebíase apresentam maiores incidências (Moraes, 2021).

Dessa forma, as doenças de veiculação hídrica são aquelas contraídas ao ingerir diretamente água contaminada por microrganismos patogênicos, estando associadas às doenças transmitidas pelo contato com água contaminada durante atividades recreativas ou de higiene, e às doenças cujo vetor tem parte de seu ciclo de vida desenvolvido em ambientes aquáticos (Bernardino, 2020).

O quadro abaixo apresenta alguns exemplos de doenças de veiculação hídrica.

**Quadro (1):** Doenças de veiculação hídrica

| <b>Categorias</b>                       | <b>Grupos de doenças</b>  |
|---|---|
| <b>Doenças de transmissão feco-oral</b> | <p>Diarreias, Cólera, Salmonelose; <i>Shigelose</i>; Amebíase.</p> <p>Outras infecções intestinais bacterianas (<i>Escherichia coli</i>, <i>Campilobacter ssp.</i>, <i>Yersinia enterocolitica</i>, <i>Clostridium difficile</i>).</p> <p>Outras doenças intestinais por protozoários (<i>Balantidiase</i>, <i>Giardiase</i>, <i>criptosporidiase</i>).</p> <p><i>Isosporiase</i>.</p> <p>Doenças intestinais por vírus (enterite por rotavírus, gastroenteropatia aguda, adenovírus).</p> <p>Febres entéricas; Febre tifoide; Febre paratifoide; Hepatite A; Poliomielite.</p> |

|   |   |
|---|---|
| <b>Doenças relacionadas com a higiene</b>                 | Doenças Infecciosas dos olhos (Tracoma, Conjuntivites).<br>Infecciosas da pele (Dermatofitoses; Micoses). |
| <b>Doenças transmitidas através do contato com a água</b> | Esquistossomose; Leptospirose, Difilobotriase e outras infecções por helmintos.                           |
| <b>Doenças transmitidas por inseto vetor</b>              | Dengue, Febre Amarela; Chikungunya; Leishmanioses; Malária, Doenças de Chagas, Doenças do sono.           |

Fonte: Bernardino (2020).

De acordo com o Ministério da Saúde, no Brasil as 10 principais doenças transmitidas pela água são amebíase, cólera, dengue, doenças diarreicas agudas, esquistossomose, filariose, febre tifoide, giardíase, hepatite A e leptospirose (ABDCON SINDCON, 2023).

O quadro a seguir apresenta os principais sintomas, o agente causador e o meio de prevenção das principais doenças de veiculação hídrica no Brasil.

**Quadro (2):** Doenças de veiculação no Brasil.

| <b>Doença</b>             | <b>Sintomas</b>  | <b>Agente causador</b>                         | <b>Prevenção</b>  |
|---------------------------|--|--|---|
| Amebíase                  | Diarreia, sangue nas fezes e febre.                          | Entamoeba histolytica.                         | Saneamento básico, higiene pessoal e tratamento da água.                          |
| Cólera                    | Diarreia profusa e desidratação.                             | <i>Vibrio cholerae</i> .                       | Água tratada, saneamento adequado e vacinação.                                    |
| Dengue                    | Febre, dor nas articulações, manchas vermelhas na pele, etc. | <i>Aedes Aegypti</i> .                         | Controle de mosquitos, eliminação de criadouros e medidas de proteção individual. |
| Doenças Diarreicas Agudas | Enjoos, vômitos, febre e desconforto abdominal.              | Bactérias, vírus e parasitas                   | Higiene, água tratada, práticas de saneamento e conscientização.                  |
| Esquistossomose           | Febre, anorexia, dor abdominal e cefaleia.                   | <i>Schistosoma mansoni</i> .                   | Controle de caramujos, saneamento e educação sobre riscos.                        |
| Filariose                 | Febre, cefaleia, dor muscular, etc.                          | <i>Nematódeo Wuchereria bancrofti</i> . Possui | Intervenções específicas conforme estratégias globais.                            |

|               |  |  |  |
|---------------|--|--|--|
|               |  | como vetor o <i>Culex quiquefasciatus</i> .              |  |
| Febre Tifoide | Febre alta, dor abdominal, etc.  | <i>Salmonella enterica</i> sorotipo <i>Typhi</i> .       | Saneamento adequado, higiene e vacinação.                            |
| Giardíase     | Cólicas abdominais, gases, eructação, diarreia, enjoos.  | Parasita <i>Giardia</i>                                  | Tratamento da água, higiene e educação sobre prevenção.              |
| Hepatite A    | Cansaço, tontura, enjoos, vômitos, febre, dor abdominal, pele e olhos amarelados, urina escura e fezes claras. | Vírus que pertence à família <i>Picornaviridae</i> (HAV) | Higiene, consumo de água potável e vacinação.                        |
| Leptospirose  | Diarreia, dor nas articulações, vermelhidão ou hemorragia.   | bactéria <i>Leptospira</i>                               | Evitar contato com água contaminada, higiene e controle de roedores. |

Fonte: Ministério da Saúde/ FioCruz (2024). Elaborado pela autora.

Das doenças citadas, as doenças diarreicas agudas são consideradas uma das principais resultantes da água contaminada, e de acordo com informações da *World Health Organization* (WHO), estão entre as principais causas de morte infantil em escala global, sendo responsáveis por 8% de todos os óbitos de crianças com menos de 5 anos de idade (WHO, 2019).

No Brasil, aproximadamente sete crianças perdem a vida diariamente devido à diarreia, um cenário que poderia ser alterado com o investimento prioritário em infraestrutura de saneamento, especialmente no que se refere ao acesso à água potável (Figueiro, 2020).

As doenças de veiculação hídrica representam uma questão significativa em escala global, e as políticas públicas brasileiras direcionadas para combatê-las mostram-se ineficazes, tornando o cenário ainda mais preocupante (Correia, 2021).

### 2.3 SEGURANÇA HÍDRICA EM ÁREAS RURAIS

A segurança hídrica é um assunto de destaque na sociedade, uma vez que define as condições em que uma região se encontra em relação à oferta (quantidade e qualidade) de água para atender às necessidades da sua população e das atividades que utilizam esse recurso vital (Rocha, 2022).

A definição de “segurança hídrica” é conceituada pela ONU (2013) como:

“a capacidade da população ter acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para a manutenção da vida e do bem-estar humano, garantindo o desenvolvimento das atividades econômicas, garantindo a proteção contra doenças de



veiculação hídrica e desastres associadas à água, bem como a preservação dos ecossistemas”.

No meio rural, a segurança hídrica enfrenta inúmeros desafios, entre eles, a sazonalidade dos corpos hídricos, falta de infraestrutura de saneamento, além de outros fatores que dificultam o acesso a água de qualidade (Medeage, 2023).

Moreira *et al.* (2020) apontam que a sazonalidade exerce uma função significativa na modulação dos fluxos hídricos e nas condições hidrológicas ao longo do tempo, contribuindo para questões como enchentes, qualidade da água, bem como a falta de recursos hídricos.

No que se refere à infraestrutura de saneamento, Carvalho *et al.* (2017) e Cunha *et al.* (2020) enfatizam que na zona rural os serviços e indicadores de saneamento básico são precários, inexistentes ou defasados, podendo acarretar alterações em alguns parâmetros físico-químicos e biológicos da água, afetando diretamente a sua qualidade.

Ao discutir sobre segurança hídrica em áreas rurais, Dunder *et al.* (2022) mencionam que é importante levar em consideração que o acesso à água não se restringe a aspectos técnicos, mas engloba as interações entre ambiente e sociedade, onde o acesso a água em qualidade e quantidade não se limita somente à escassez física, mas também reflete a desigualdade política e econômica.

Nesse contexto, o Brasil possui o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) que oferece uma abordagem inovadora e pioneira para garantir a segurança hídrica no Brasil, promovendo um planejamento integrado e consistente da infraestrutura hídrica do país, focando nos desafios regionais e estratégicos (ANA, 2024).

O plano complementa as ações de gestão de recursos hídricos e contribui para alcançar os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, garantindo a disponibilidade adequada de água para as gerações presentes e futuras e prevenindo eventos hidrológicos críticos (ANA, 2024).

## 2.4 POLÍTICAS PÚBLICAS

A gestão pública tem um importante papel na garantia do direito à água potável e saneamento básico. No Brasil, legislações como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), Política Nacional de Saneamento Básico (Lei 11.445/2007), bem como o Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) estabelecem diretrizes essenciais para garantir o acesso aos recursos hídricos e saneamento a todos.

O saneamento básico engloba uma série de serviços públicos, tais como fornecimento de água potável, tratamento de esgoto, coleta de lixo urbano, gerenciamento adequado de resíduos sólidos urbanos, além da drenagem e controle das águas pluviais (ANA, 2024).

O Decreto de nº 7.217 de 2010, que regulamenta a Lei de Saneamento (Lei nº 1145/2007), estabelece as diretrizes para a organização do setor do saneamento básico no Brasil e no artigo 24 fica claro que o planejamento inclui, entre outros, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), um dos pilares essencial para garantir a universalização dos serviços de saneamento (SENAR, 2019).

O PLANSAB é estruturado com base em três programas principais: 1. Saneamento Básico Integrado; 2. Saneamento Rural; e 3. Saneamento Estruturante (SENAR, 2019). A operacionalização desses programas é importante visando alcançar as metas estabelecidas pela legislação e para garantir que políticas públicas sejam efetivas, inclusivas e sustentáveis, conforme apontado pelo SENAR (2019).

Ao se tratar do Saneamento Rural, o propósito do Programa Nacional de Saneamento Rural é assegurar a disponibilidade ampla das ações de saneamento básico em áreas rurais, incluindo ações como abastecimento de água, tratamento de resíduos, melhorias sanitárias nas casas, controle de resíduos, educação e envolvimento da população local (FUNASA, 2017).

O Art. 49 do Novo Marco Legal do Saneamento Básico estabelecido pela Lei 14.026/2020 reforça o compromisso com a inclusão social e a promoção da saúde pública em áreas historicamente negligenciadas, como áreas rurais e pequenas comunidades (BRASIL, 2020).

A Lei nº 9433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tem o objetivo de desenvolver diretrizes para a gestão dos recursos hídricos de competência federal (Brasil, 1997). A PNRH tem princípios básicos como:

- i) a água é um bem público e de uso múltiplo;
- ii) a gestão descentralizada e participativa, por meios de comitês e conselhos de bacia hidrográfica;
- iii) a prioridade para o consumo humano e a dessedentação animal.

A Política Nacional de Recursos Hídricos busca equilibrar a oferta e demanda de água, considerando a sustentabilidade ambiental e a inclusão social.

Embora as legislações sejam robustas, há muitos desafios a serem enfrentados para efetiva implementação. Conforme apontado por Oliveira e Ramires (2019) e Kuwajima *et al.*

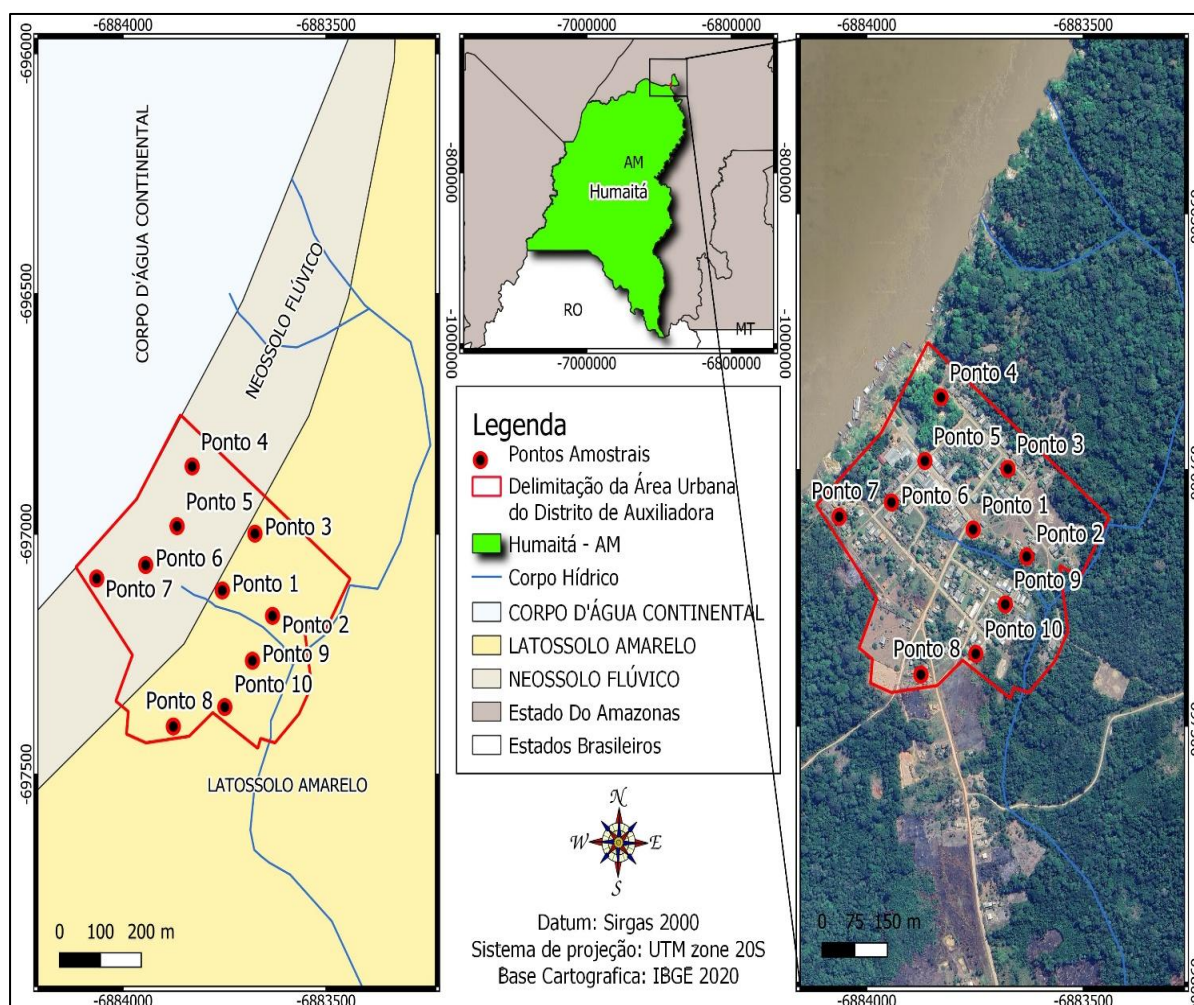
(2020), o Brasil tem uma significativa reserva hídrica, principalmente na Amazônia, onde se encontra uma vasta quantidade de água em rios e reservatórios subterrâneos, só que, a escassez de água tratada e a falta de infraestrutura básica de saneamento são questões recorrentes nessa região, sendo necessários investimentos consideráveis para assegurar o acesso universal, como determina a legislação.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

A pesquisa foi realizada no município de Humaitá, localizado na região sul do Estado do Amazonas, cujas coordenadas geográficas são 07° 30' 22" S e 63° 01' 15" W, admitindo uma população estimada em 57.195 habitantes, além de apresentar elevada extensão territorial de aproximadamente 33 mil km<sup>2</sup>. No entanto, no cenário populacional, 31% da população residem na zona rural (comunidades, distritos, reservas indígenas, assentamentos e outros) (IBGE, 2021).

Diante desta conjuntura, a pesquisa foi conduzida no distrito de Auxiliadora (Figura 1), zona rural do município de Humaitá, localizado à margem direita do rio Madeira distante 200 km da área urbana, com acesso via transporte fluvial. O distrito de Auxiliadora possui aproximadamente 4.000 habitantes e conforme as informações do Sistema de Águas Subterrâneas (SIAGAS) o processo de distribuição de água é realizado por 2 poços tubulares com profundidade de 12 e 18 metros.



**Figura (1):** Área de estudo

Fonte: Autora.

**Tabela (1):** Descrição das coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

|                 | P1           | P2           | P3           | P4           | P5           | P6           | P7           | P8           | P9           | P10          |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Ponto</b>    | 611          | 612          | 613          | 614          | 615          | 616          | 617          | 618          | 619          | 620          |
| <b>Elevação</b> | 49m          | 53m          | 55m          | 59m          | 60m          | 59m          | 60m          | 62m          | 62m          | 64m          |
| <b>Coord.</b>   | S06°14'59.1" | S06°15'00.8" | S06°14'55.3" | S06°14'50.8" | S06°14'54.8" | S06°14'57.4" | S06°14'58.3" | S06°15'08.2" | S06°15'3.8"  | S06°15'6.9"  |
|                 | W61°50'157"  | W61°50'11.7" | W61°50'13.1" | W61°50'18.1" | W61°50'19.3" | W61°50'21.8" | W61°50'25.7" | W61°50'19.6" | W61°50'13.3" | W61°50'15.5" |

De acordo com os critérios de classificação de Koppen, o clima de região é caracterizado como tropical úmido apresentando um período chuvoso prolongado e com pouca duração de período seco (AM), temperatura média de 26°C e a pluviosidade variando em torno de 2.500mm, com precipitação entre os meses de outubro e junho e umidade do ar atmosférico entre 85 e 90% (Campos *et. al.*, 2012).

### 3.2 PROCESSO METODOLÓGICO

A presente pesquisa adotou uma abordagem quantitativa. Segundo Freitas (2019), a pesquisa quantitativa visa e possibilita a identificação de indicadores e tendências presentes na realidade. A pesquisa foi conduzida de forma estruturada, organizada em cinco etapas distintas.

Na primeira etapa, realizou-se uma revisão de literatura afim de adquirir informações acerca da temática, incluindo estudos anteriores, normativas, metodologias e aspectos relacionados a qualidade da água para consumo humano.

A segunda etapa, envolveu a caracterização das formas de consumo da água. A terceira etapa compreendeu o mapeamento e delimitação dos pontos de amostragem. Na quarta etapa, realizou-se a amostragem e análise da água e por fim, na quinta etapa foi feito a determinação do Índice Natural das Águas Subterrâneas. O cálculo do IQNAS foi realizado afim de classificar a água consumida pelos comunitários.

Os dados foram analisados utilizando estatística descritiva, com elaboração de gráfico e tabelas por meio do *software Excel*. Posteriormente, os resultados foram descritos e discutidos nos capítulos 1 e 2.

#### 4 REFERÊNCIAS

ABCON SINDCON. **Doenças de veiculação hídrica no Brasil: causas, sintomas e prevenção.** 2023. Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/doencas-de-veiculacao-hidrica/>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ANA- Agência Nacional das Águas. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-seguranca-hidrica>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

ANA- Agência Nacional de águas (Brasil). A ANA e o Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento>. Acesso em: 06 abr. 2024.

ARAUJO, Rayane Maria da Silva. Pesquisa de coliformes totais e coliformes termotolerantes em queijos tipo coalho produzidos com leite cru na região do Agreste Paraibano. 2017.

ARORA, Naveen Kumar; MISHRA, Isha. Current scenario and future directions for sustainable development goal 2: A roadmap to zero hunger. **Environmental Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 129-133, 2022.

BERNARDINO, Kamila Rocha et al. O desafio do saneamento em comunidades rurais e a importância do monitoramento da qualidade da água. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 14, n. 2, p. 255-273, 2020.

BOLDRIN, Mirtes Tatiane Neisse; CUTRIM, Alterêdo Oliveira. Avaliação de impactos potenciais nas águas subterrâneas urbanas de Sinop (MT) usando a matriz de Leopold. **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 1, p. 89-105, 2014.

BORTOLI, Jaqueline De. Qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada para consumo humano e dessedentação animal em propriedades rurais produtoras de leite na região do Vale do Taquari/RS. 2016.

BRASIL. CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 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: <[www.mma.gov.br/port/conama](http://www.mma.gov.br/port/conama)>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 21 mai.2024.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, DF, 18 de julho de 2000, P. 1.

Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm). Acessado em: 21 mai. 2024.

BRASIL. Lei no. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445/](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445/). Acesso em: 22 mai.2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília, 2014.

BRASIL. Portaria nº. 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: Acesso em 15 de fevereiro de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 21 mai. 2024.

CAMARGO, Marcos Mancio Affonso. Direito humano de acesso à água e ao saneamento: discussão do novo marco regulatório. 2022.

CAMPOS, Milton César Costa et al. Topossequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 387-398, 2012.

CARLOS, E.; FERREIRA FILHO, Rubens Amaral. Saneamento e doenças de veiculação hídrica DATASUS e SNIS 2019. **Trata Brasil**, 2021.

CARMO, José Carlos Cruz do; OLIVEIRA, Iara Brandão. UMA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA INFLUÊNCIA DO CLIMA E DOS FRATURAMENTOS NOS TEORES DE FERRO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DOMÍNIO DAS ROCHAS CRISTALINAS DO ESTADO DA BAHIA. **Águas Subterrâneas**, 2016.

CARVALHO, Ana Paula Monteiro et al. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água de abastecimento alternativo no distrito de Jmacaru em Missão Velha-CE. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, v. 7, n. 1, p. 35-51, 2017.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 2022. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-Content/uploads/sites/24/2022/11/Fluore-fluoretos.pdf/>. Acesso: 23 de mai. 2023.

CORREIA, Catherine Veloso et al. DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA E SEU GRANDE IMPACTO NO BRASIL: CONSEQUÊNCIA DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS OU INEFICIÊNCIA DE POLÍTICAS PÚBLICAS?. **Brazilian Medical Students**, v. 5, n. 8, 2021.

CUNHA, Geremias Dourado da et al. Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 2, p. 1-9, 2020.

DIAS, Diogo; MATOS, Andrea Cristina Lima Dos Santos. ANÁLISES DE PH, CONDUTIVIDADE E DUREZA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS EM CAÇAPAVA DO SUL/RS. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 9, n. 2, 2017.

DUNDER, Beatriz Duarte et al. (2022). Segurança hídrica das populações rurais da Macrometrópole Paulista.

FABRIS, B. T.; JOÃO, J. J.; BORGES, E. M. Quantificação de nitrito em água utilizando um scanner de mesa. **Revista Virtual de Química**, v. 12, p. 569-582, 2020.

FERREIRA, Laura Almeida et al. Avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 721-729, 2021.

FIGUEIRO, Adriano. **Governança da água das políticas públicas à gestão de conflitos**. Researchgate (2020). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/342313051\\_Governanca\\_da\\_agua\\_das\\_politicas\\_publicas\\_a\\_gestao\\_de\\_conflitos](https://www.researchgate.net/publication/342313051_Governanca_da_agua_das_politicas_publicas_a_gestao_de_conflitos).

FORTES, Ana Carolina Chaves; BARROCAS, Paulo Rubens Guimarães; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. **Saúde em Debate**, v. 43, p. 20-34, 2020.

FRAZÃO, Paulo; PERES, Marco A.; CURY, Jaime A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. **Revista de saúde pública**, v. 45, p. 964-973, 2011.

FREITAS MUSSI, Ricardo Franklin de et al. Pesquisa Quantitativa e/ou Qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. *Revista Sustinere*, v. 7, n. 2, 2019.

FUNASA- Fundação Nacional de Saúde (Brasil). Saneamento Rural: O desafio de universalizar o Saneamento Rural. 2017. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/>. Acesso em: 06 abr. 2024.

GONÇALVES, Cristina; SILVÉRIO, Patrícia Ferreira; SOARES, Aluísio. Comparação entre níveis de nitrogênio amoniacal e amônia não-ionizável em amostras de água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, 2011.

GURGEL, Raiana Silveira; DA SILVA, Lirna Salvioni; SILVA, Luciete Almeida. Investigação de coliformes totais e *Escherichia coli* em água de consumo da comunidade Lago do limão, Município de Iranduba-AM. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 4, p. 2512-2529, 2020.



IBGE (2021). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do município de Humaitá. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/humaita/panorama>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

ICICT-Fundação Oswaldo Cruz-2010. **Glossário de Doença Relacionadas à Água**. Disponível em: <https://www.aguabrasil.iciet.fiocruz.br/>. Acesso em: 24 abr. 2024.

KADER, Shuraik et al. A Concise Study on Essential Parameters for the Sustainability of Lagoon Waters in Terms of Scientific Literature. 2023.

KUWAJIMA, Julio Issao et al. **Saneamento no Brasil: proposta de priorização do investimento público**. Texto para Discussão, 2020.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016. 4a Edição.

LIMA, Fernando Santos et al. Escherichia coli, Species C Human Adenovirus, and Enterovirus in Water Samples Consumed in Rural Areas of Goiás, Brazil. **Food and Environmental Virology**, p. 1-12, 2021.

LOPES, Cristiana Maria Mendes et al. Análise físico-química e microbiológica das águas da praia Pedra do Sal na cidade de Parnaíba-PI. 2019.

MEDEAGE. Os desafios do abastecimento de água potável em áreas rurais. MedeaGe Blog, 30 out. 2023. Disponível em: <https://www.medeage.com.br/blog/os-desafios-do-abastecimento-de-agua-potavel-em-areas-rurais>. Acesso em: 6 abril 2024.

MIRANDA, Felipe Silva de et al. Quality of water for human consumption in a rural area community from Brazil. African Journal of Microbiology Research, v. 12, n. 29, p. 688-696, 2018.

MORAES, Aliriane Elizardo. Doenças vinculadas por recursos hídricos no bairro Tancredo Neves no município de Tabatinga no Estado do Amazonas. 2021.

MOREIRA, Marília Lima; MIGUEL, Joelson Rodrigues; MATOS, Raimundo Giovanni França. O Direito à Água e sua Proteção Jurídica: Desafios do Direito Ambiental na Contemporaneidade/The Right to Water and its Legal Protection: Environmental Law Challenges in Contemporary. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 15, n. 55, p. 641-658, 2021.

MOURA, Larissa; LANDAU, Elena Charlotte; FERREIRA, A. de M. Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado no Brasil. 2016.

NAVEEDULLAH, Naveedullah et al. Water quality characterization of the siling reservoir (Zhejiang, China) using water quality index. **CLEAN–Soil, Air, Water**, v. 44, n. 5, p. 553-562, 2016.

NOGUEIRA, FÁBIO FERNANDES; COSTA, ISABELLA ALMEIDA; PEREIRA, UENDEL ALVES. Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-

bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis–Goiás. **Trabalho de conclusão de curso submetido como exigência parcial para a obtenção do título em Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Goiânia, 2015.**

OLIVEIRA, Levi Ferreira de; OLIVEIRA, Benone Otávio Souza de; LIMA, Luan Barros de. Avaliação da qualidade da água de três córregos na área urbana de Humaitá-AM. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 25-33, 2018.

OLIVEIRA, Paulo Tetsuo de; RAMIRES, Ivan. Análise da qualidade das águas de poços rasos no assentamento Itamarati em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 88-114, 2019.

OMER, N. H. Water quality parameters, water quality—science, assessments and policy, Kevin Summers, IntechOpen. 2019.

ONU. Definição segurança hídrica. Disponível em: <http://www.unwater.org/waterfacts/> Acesso em: 29 abr. 2024.

ONU. Resolução A/RES/64/292. 2010. Disponível em: <<http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/64/292&lang=E>>. Acesso em: 27 abr. 2024.

PAIVA, Roberta Fernanda da Paz de Souza; SOUZA, Marcela Fernanda da Paz de. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, 2018.

PANTOJA, Danielle Nazaré Salgado Mamede et al. Avaliação dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos de poços individuais no município de Barcarena/PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p.557-566, 2021.

PANTOJA, Danielle Nazaré Salgado Mamede et al. Qualidade das águas minerais quanto aos aspectos microbiológicos e físico-químicos analisadas no período de 2017 a 2019 na Região Metropolitana de Belém, Pa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e143996809-e143996809, 2020.

RAIMI, Morufu Olalekan et al. Quality water, not everywhere: Assessing the hydrogeochemistry of water quality across Ebocha-Obrikom oil and gas flaring area in the Core Niger Delta Region of Nigeria. **Pollution**, v. 8, n. 3, p. 751-778, 2022.

ROCHA, Eloisa Ionara Silva. **Avaliação da segurança hídrica: estudo de caso, Currais Novos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SANTOS, Darlisson Medeiros; DA CONCEIÇÃO, Otávio Prates. Métodos de extração de fósforo. **Revista GeTeC**, v. 7, n. 19, 2018.

SANTOS, Mariano Vieira dos et al. Qualidade da água de abastecimento público em escolas da rede públicas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 1, 2019.

SANTOS, Mariano Vieira dos et al. Uso e ocupação do solo e qualidade da água do rio Crato no município de Humaitá-AM, Brasil. **Revista Valore**, v. 5, p. 5040, 2020.

SCALIZE, Paulo Sérgio et al. Physicochemical, microbiological quality, and risk assessment of water consumed by a quilombola community in midwestern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 35941-35957, 2021.

SENAR: saneamento rural/Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 2019. 84 p. il.; 21 cm – (Coleção Senar, 226).

SHAH, C. R. Which Physical, Chemical and Biological Parameters of water determine its quality? June. 2017.

SHALINI CHATURVEDI, Shalini Chaturvedi; DAVE, P. N. Removal of iron for safe drinking water. 2012.

SILVA, Aldeni Barbosa da et al. Análise microbiológica da água utilizada para consumo nas escolas de Esperança, Paraíba. 2017.

SILVA, Débora Delatore da et al. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 01, p. 43-52, 2014.

SILVA REIS, Fabio Antônio da et al. Qualidade da água de abastecimento e fatores de risco à saúde na comunidade de Maria Jape em Ilhéus, Bahia. *Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, 2022.

SOLÍS-CASTRO, Yuliana; ZÚÑIGA-ZÚÑIGA, Luis Alberto; MORA-ALVARADO, Darner. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 31, n. 1, p. 35-46, 2018.

SPLABOR. A importância de fazer a análise de água de poços artesianos. São Paulo, julho de 2023. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/equipamentos-para-analise-de-agua/a-importancia-de-fazer-a-analise-de-agua-em-poco-artesiano/>. Acesso em: 20 mai.2024.

UHR, Júlia Gallego Ziero; SCHMECHEL, Mariana; UHR, Daniel de Abreu Pereira. Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica. **Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace**, v. 7, n. 2, 2016.

VASCONCELOS, Maiana Azevedo; DE OLIVEIRA, Iara Brandão. Especificação Química do Sulfato em Águas Subterrâneas do Domínio Hidrogeológico Sedimentar do Estado da Bahia-Brasil, Utilizando o Método Tableau. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 256-266, 2018.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª Edição. **Editora UFMG. Belo Horizonte-MG**, 2014.

World Health Organization. Saferwater, betterhealth. Geneva: World Health Organization; 2019.<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329905/9789241516891-eng.pdf?ua=1>

## **CAPÍTULO I**

### **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BACTERIOLÓGICOS DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO NO DISTRITO DE AUXILIADORA, HUMAITÁ-AM**

#### **1 INTRODUÇÃO**

A água é essencial para a vida e deve ser acessível a todos de maneira potável, trazendo inúmeros benefícios para a saúde, especialmente para os grupos populacionais mais vulneráveis às doenças transmitidas pela água (Zamboni, 2019).

Em 2015, a ONU (Organização das Nações Unidas), lançou os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis), entre os quais, há uma preocupação em relação à segurança hídrica, destacada especialmente no ODS 6, que busca garantir a disponibilidade e gestão da água e saneamento para todos. Esse objetivo reforça a importância da governança e de políticas públicas eficazes para assegurar a qualidade da água e minimizar os impactos da contaminação na saúde e no meio ambiente.

É imprescindível que a água destinada ao consumo humano, fornecida em sistemas alternativos e comunitários de fornecimento de água, ofereça a garantia mínima de qualidade para satisfazer as demandas humanas e o desempenho de suas tarefas diárias, conforme o nível de qualidade requerido para cada finalidade (Silva, 2019).

A portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, é a legislação vigente no Brasil que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2021). Para Shah (2017), a qualidade da água é determinada por meio de análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos para avaliar sua segurança.

No contexto rural, as águas subterrâneas representam a principal fonte de abastecimento para o consumo humano devido à sua ampla disponibilidade e relativa facilidade de obtenção (Ferreira, *et al.*, 2021). No entanto, os autores argumentam que a ausência de um programa de monitoramento da qualidade das águas nesse meio pode comprometer a preservação e conservação dos recursos hídricos, além de apresentar risco à saúde pública.

Este capítulo apresenta os achados resultante da análise dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água consumida pelos moradores do distrito de Auxiliadora, zona rural do município de Humaitá-AM, com o objetivo de avaliar sua potabilidade e segurança para consumo humano.

Os parâmetros avaliados foram escolhidos com base na sua relevância para saúde pública e pelo fato de serem medidos de maneira objetiva tanto em campo quanto em laboratório. Os parâmetros físico-químicos analisados foram pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais, cloreto, fluoreto, dureza, sulfato, ferro total, amônia, nitrato, nitrito, fosfato, cor, turbidez, condutividade elétrica e temperatura e os bacteriológicos foram coliformes totais e termotolerantes e *Escherichia Coli*.

A avaliação desses parâmetros é de fundamental importância para verificar se a água consumida pelos comunitários atende aos critérios de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira, como a portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008 que dispõe sobre a classificação e enquadramento para águas subterrâneas.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 COLETA DE DADOS

Foram realizadas visitas *in loco* no distrito, com a finalidade de registro fotográfico, caracterização das formas de consumo de água, delimitação dos pontos a serem amostrados.

O distrito de Auxiliadora dispõe de três poços artesianos, onde um está desativado e dois encontram-se em funcionamento, fornecendo recurso hídrico para toda a comunidade.

Portanto, foram plotados 10 pontos de monitoramento distribuídos de forma aleatória garantindo que toda a área fosse abrangida. O monitoramento foi planejado para ocorrer trimestralmente, totalizando três coletas durante o período estudado, conforme tabela abaixo.

**Tabela (2):** coleta de dados

| Coleta | Mês      | Ano  | Quantidade de pontos |
|--------|----------|------|----------------------|
| 1ª     | Agosto   | 2023 | 10                   |
| 2ª     | Novembro | 2023 | 10                   |
| 3ª     | Março    | 2024 | 10                   |

As coletas seguiram a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Foram feitas com técnicas e precauções, tomando todos os cuidados necessários com a preservação das amostras (refrigeração, armazenamento, transporte), visando reduzir interferências na qualidade físico-química e bacteriológica das mesmas.

Vale ressaltar que, inicialmente, estavam previstas cinco coletas para a realização da pesquisa. No entanto, devido a problemas logísticos ocasionados pela seca severa que afetou o rio Madeira em 2024, não foi possível executá-las. A navegação tornou-se inviável, e como o acesso à área de estudo se dava por meio do transporte fluvial, ficou impossível realizar às duas últimas coletas.

As técnicas para os procedimentos nas amostras coletadas para fins de análises físico-químicas e bacteriológicas foram realizadas e organizadas da seguinte maneira:

**Quadro (3):** Procedimentos adotados para as análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água.

| <b>Parâmetros</b>  | <b>Método de Análise</b> | <b>Equipamentos Utilizados</b>   | <b>Local de Análise</b>                  |
|--|--------------------------|--|--|
| pH, Oxigênio Dissolvido, Sólidos Totais, Temperatura, Condutividade Elétrica                     | Análise <i>in loco</i>   | Sonda <i>Multiparameter</i> HI98193 (HANNA) e Medidor Multiparâmetro de Bolso AKSO calibrados                | Área de Coleta                           |
| Cloreto, Fluoreto, Dureza, Sulfato, Ferro Total, Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato, Alcalinidade | Análise Laboratorial     | Fotômetro Multiparâmetro Micro 20  | Laboratório de Engenharia Ambiental-UFAM |
| Cor da Água  | Análise Laboratorial     | Medidor de Cor Portátil para Água (Modelo AK530 – AKSO)  | Laboratório de Engenharia Ambiental-UFAM |
| Turbidez da Água   | Análise Laboratorial     | Medidor de Turbidez Portátil com Tecnologia <i>Fast Tracker</i> HI98703 (HANNA)                              | Laboratório de Engenharia Ambiental-UFAM |
| Escherichia Coli, Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes                                 | Análise Laboratorial     | Procedimentos descritos na 22ª edição do <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> | Laboratório LAPEF- Porto Velho, Rondônia |

Fonte: autora.

Em cada ponto, foram coletadas duas amostras de água para fins de análises físico-químicas. Após a obtenção dos resultados, calculou-se a média para cada parâmetro analisado, garantindo maior precisão e representatividade nos dados. Para as análises bacteriológicas, foi coletada uma amostra em cada ponto de monitoramento, permitindo a determinação da presença ou ausência de microrganismos nas amostras.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são apresentados de forma clara e objetiva, através de tabelas e gráficos que facilitam a visualização dos dados. Logo, é feita uma análise comparativa desses resultados com os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA nº 396/2008.

Os resultados encontrados para as três campanhas de amostragem estão descritos nas Tabelas (3), (4) e (5).

**Tabela (3):** Parâmetros físicos da água coletada no distrito de Auxiliadora.

| <b>1ª coleta</b> | <b>Amostra</b> | <b>Cor</b> | <b>Turbidez</b> | <b>Condutividade elétrica</b> | <b>Temperatura</b> |
|------------------|----------------|------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|
|                  | P1             | 0          | 0,1             | 19                            | 31,9               |
|                  | P2             | 0          | 0,5             | 18                            | 31,2               |
|                  | P3             | 0          | 0,2             | 12,5                          | 30,6               |
|                  | P4             | 0          | 0,6             | 21                            | 29,1               |
|                  | P5             | 0          | 0,3             | 17                            | 31,7               |
|                  | P6             | 0          | 0,2             | 17,5                          | 30,6               |
|                  | P7             | 0          | 1,2             | 16,5                          | 34                 |
|                  | P8             | 0          | 0,3             | 14,5                          | 29,9               |
|                  | P9             | 0          | 0,4             | 14,5                          | 28,9               |
|                  | P10            | 0          | 0,3             | 15                            | 28,8               |
| <b>2ª coleta</b> | P1             | 0          | 0,07            | 14                            | 28,9               |
|                  | P2             | 0          | 0,1             | 17                            | 29,3               |
|                  | P3             | 0          | 0,13            | 11                            | 29,1               |
|                  | P4             | 0          | 0,11            | 10                            | 29,6               |
|                  | P5             | 0          | 0,09            | 10,5                          | 27,9               |
|                  | P6             | 0          | 0,07            | 13,5                          | 31,3               |
|                  | P7             | 0          | 0,07            | 13,5                          | 28,9               |
|                  | P8             | 0          | 0,15            | 16                            | 28,9               |
|                  | P9             | 0          | 0,07            | 11                            | 28,8               |
|                  | P10            | 0          | 0,06            | 12                            | 29,4               |
| <b>3ª coleta</b> | P1             | 0          | 0,1             | 19                            | 31,9               |
|                  | P2             | 0          | 1,1             | 10                            | 25,2               |
|                  | P3             | 0          | 0,3             | 14                            | 26                 |
|                  | P4             | 0          | 0,4             | 3,5                           | 25,7               |
|                  | P5             | 0          | 0,5             | 5,5                           | 26,1               |
|                  | P6             | 0          | 0,3             | 6,5                           | 25,7               |
|                  | P7             | 0          | 0,4             | 13,5                          | 25,4               |
|                  | P8             | 0          | 0,1             | 10,5                          | 25,7               |
|                  | P9             | 0          | 0,2             | 10,5                          | 25,8               |
|                  | P10            | 0          | 0,2             | 9,5                           | 25,4               |

Fonte: autora.



**Tabela (4):** Parâmetros químicos da água coletada no distrito de Auxiliadora.

| <b>1ª Coleta</b> | <b>Amostra</b> | <b>pH</b> | <b>OD</b> | <b>ST</b> | <b>Cl<sup>-</sup></b> | <b>F<sup>-</sup></b> | <b>Dur</b> | <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> | <b>Fe</b> | <b>NH<sub>3</sub></b> | <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> | <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> | <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> |
|------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|----------------------|------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|                  | P1             | 4,39      | 6,24      | 9         | 11,5                  | 0,54                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P2             | 4,41      | 5,81      | 9         | 18                    | 0,56                 | 60         | 1                                  | 0,16      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P3             | 4,46      | 6,12      | 6         | 16                    | 0,14                 | 60         | 0                                  | 0,21      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P4             | 4,51      | 5,86      | 10        | 20,5                  | 0,28                 | 60         | 1,5                                | 0,1       | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P5             | 4,41      | 6,46      | 9         | 18,5                  | 0,76                 | 60         | 1,5                                | 0,11      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P6             | 4,45      | 6,37      | 8,5       | 19,5                  | 0,42                 | 60         | 0                                  | 0,13      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P7             | 4,45      | 7,29      | 8         | 9,5                   | 0,21                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P8             | 4,4       | 5,91      | 7         | 12,5                  | 0,57                 | 64         | 2                                  | 0,18      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P9             | 4,42      | 6,04      | 7         | 9                     | 0,42                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P10            | 4,41      | 6,19      | 7         | 15,5                  | 0,13                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0                                 | 0                                 | 0,03                               |
| <b>2ª Coleta</b> | P1             | 4,75      | 6,49      | 7         | 0                     | 0,29                 | 60         | 0                                  | 0,15      | 0                     | 0,28                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P2             | 4,73      | 6,39      | 8         | 0                     | 0,23                 | 60         | 0                                  | 0,19      | 0                     | 0,65                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P3             | 4,68      | 5,78      | 5         | 0                     | 0,16                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P4             | 4,75      | 6,43      | 4,5       | 0                     | 0,19                 | 60         | 0                                  | 0,17      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P5             | 4,89      | 7,6       | 5         | 0                     | 0,25                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P6             | 4,79      | 6,59      | 6         | 0                     | 0,23                 | 60         | 0                                  | 0,14      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P7             | 5,1       | 5,44      | 6         | 0                     | 0,24                 | 60         | 0                                  | 0,18      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P8             | 4,84      | 7,27      | 7         | 0                     | 0,21                 | 61         | 0                                  | 0,2       | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P9             | 4,81      | 6,48      | 5,5       | 0                     | 0,19                 | 60         | 0                                  | 0,15      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P10            | 4,81      | 5,97      | 6         | 0                     | 0,23                 | 60         | 0                                  | 0,2       | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
| <b>3ª Coleta</b> | P1             | 5,49      | 6,52      | 5         | 0                     | 0,13                 | 60         | 2                                  | 0,11      | 0                     | 0,21                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P2             | 5,36      | 6,64      | 6         | 0                     | 0,35                 | 60         | 0                                  | 0,09      | 0,01                  | 0,17                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P3             | 5,43      | 7,12      | 1,5       | 0                     | 0,27                 | 60         | 0                                  | 0,16      | 0,02                  | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P4             | 5,67      | 6,8       | 2,5       | 0                     | 0,23                 | 60         | 0                                  | 0,06      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P5             | 5,34      | 7,53      | 3         | 0                     | 0,22                 | 60         | 0                                  | 0,14      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P6             | 5,37      | 7,47      | 6         | 0                     | 0,2                  | 60         | 0                                  | 0,14      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P7             | 5,38      | 7,66      | 5         | 0                     | 0,17                 | 60         | 0                                  | 0,13      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P8             | 5,58      | 7,64      | 5,5       | 0                     | 0,17                 | 60         | 0                                  | 0,15      | 0                     | 0,21                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P9             | 5,37      | 7,72      | 4,5       | 0                     | 0,16                 | 60         | 1,5                                | 0,14      | 0                     | 0,12                              | 0                                 | 0,03                               |
|                  | P10            | 5,25      | 8,07      | 5         | 0                     | 0,16                 | 60         | 0                                  | 0,28      | 0                     | 0,23                              | 0                                 | 0,03                               |

Fonte: autora. **OD:** Oxigênio Dissolvido; **ST:** Sólidos Totais; **Cl<sup>-</sup>:** Cloreto; **F<sup>-</sup>:** Fluoreto; **Dur:** Dureza; **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:** Sulfato; **Fe:** Ferro Total; **NH<sub>3</sub>:** Amônia; **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:** Nitrato; **NO<sub>2</sub><sup>-</sup>:** Nitrito; **PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>:** Fosfato.

**Tabela (5):** Parâmetros bacteriológicos da água coletada no distrito de Auxiliadora.

| <b>1ª Coleta</b> | <b>Amostra</b> | <b><i>Escherichia Coli</i></b> | <b>Coliformes Totais</b> | <b>Coliformes Termotolerantes</b> |
|------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
|                  | P1             | Ausente                        | Ausente                  | Presente                          |
|                  | P2             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P3             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P4             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P5             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P6             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P7             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P8             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P9             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P10            | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
| <b>2ª Coleta</b> | P1             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P2             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P3             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P4             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P5             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P6             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P7             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P8             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P9             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P10            | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
| <b>3ª Coleta</b> | P1             | Ausente                        | Ausente                  | Presente                          |
|                  | P2             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P3             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P4             | Presente                       | Presente                 | Presente                          |
|                  | P5             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P6             | Presente                       | Presente                 | Presente                          |
|                  | P7             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P8             | Ausente                        | Presente                 | Ausente                           |
|                  | P9             | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |
|                  | P10            | Ausente                        | Ausente                  | Ausente                           |

Fonte: autora.

Para efeitos de comparação com a portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde e com a Resolução CONAMA 396/2008. Desenvolveu-se uma tabela comparativa para melhor analisar os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos.

Os Valores Máximos Permitidos (VMP) para os parâmetros físico-químicos avaliados de acordo com a portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008, seguem descritos na Tabela 6.

**Tabela (6):** Valores Máximos Permitidos (VMP) para os parâmetros físico-químicos.

| Parâmetro                  | Portaria GM/MS nº 888/2021           | Resolução CONAMA nº 396/2008 (Classe 1 - Águas Subterrâneas) |
|----------------------------|--------------------------------------|--|
| pH                         | 6,0 a 9,5                            | 6,0 a 9,0  |
| Oxigênio dissolvido        | -                                    | -  |
| Sólidos dissolvidos totais | ≤ 500 mg/L                           | ≤ 500 mg/L   |
| Cloreto                    | ≤ 250 mg/L                           | ≤ 250 mg/L   |
| Fluoreto                   | ≤ 1,5 mg/L                           | ≤ 1,5 mg/L   |
| Dureza total               | ≤ 500 mg/L (como CaCO <sub>3</sub> ) | -  |
| Sulfato                    | ≤ 250 mg/L                           | ≤ 250 mg/L   |
| Ferro total                | ≤ 0,3 mg/L                           | ≤ 0,3 mg/L   |
| Amônia                     | ≤ 1,5 mg/L (como N)                  | ≤ 1,5 mg/L   |
| Nitrato                    | ≤ 10 mg/L (como N)                   | ≤ 10 mg/L  |
| Nitrito                    | ≤ 1,0 mg/L (como N)                  | ≤ 1,0 mg/L   |
| Fosfato                    | -                                    | ≤ 0,1 mg/L   |
| Cor                        | ≤ 15 uH                              | -  |
| Turbidez                   | ≤ 5,0 uT                             | -  |
| Condutividade elétrica     | -                                    | ≤ 100 µS/cm  |
| Temperatura                | Máxima de 40°C                       | ≤ 40°C   |

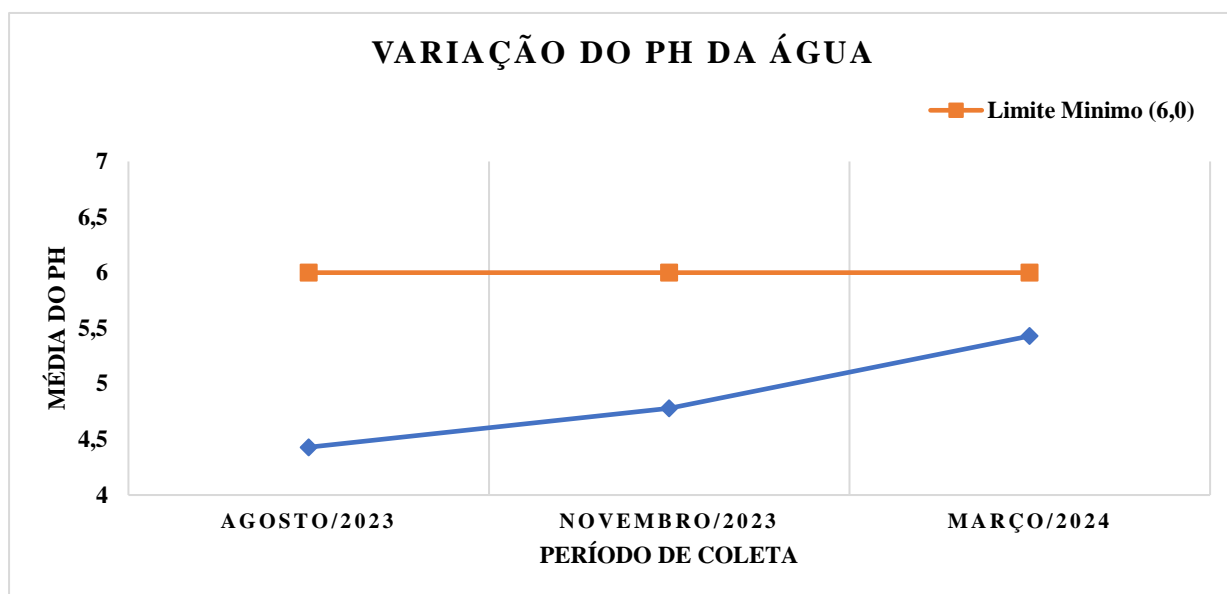
Fonte: Brasil (2008/2021). Elaborada pela autora.

É importante destacar, que o oxigênio dissolvido não possui um limite estabelecido nem pela Portaria GM/MS nº888/2021, nem pela resolução CONAMA 396/2008. No entanto, a Portaria do Ministério da saúde orienta que seja realizada a análise do oxigênio dissolvido como um parâmetro de interesse em investigações de qualidade da água, conforme descrito:

Art.42- § 1º Nos Sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, supridos por manancial superficial devem realizar análise dos parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez, Cor Verdadeira, pH, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal Total e dos parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos. A literatura aponta que o valor de Oxigênio Dissolvido na água deve ser superior a 5,0 mg/L (CETESB, 2022).

Ao analisar os resultados dos parâmetros físico-químicos à luz dos VMP apresentados na Tabela (6), é notório com exceção do pH, que os parâmetros analisados estão em conformidade com a legislação. O pH, apresentou-se abaixo das concentrações permitidas, evidenciando uma acidez generalizada da água consumida pelos moradores de Auxiliadora.

O gráfico ilustra a variação dos valores médios de pH nas três campanhas de coleta em relação ao valor mínimo exigido pela legislação.



**Figura (2):** Variação da média do pH da água coletada no distrito de Auxiliadora.

Fonte: Autora.

É observável que os valores de pH estão abaixo do mínimo recomendado (6,0), o qual configura a água analisada como uma água ácida. No período mais seco (agosto/2023), o pH foi o mais baixo, com uma média de 4,43, o que indica uma acidez mais acentuada. Houve um leve aumento nas campanhas seguintes, atingindo 4,78 em novembro de 2023 e 5,43 em março de 2024, período mais chuvoso, porém ainda fora dos padrões de potabilidade no quesito pH.

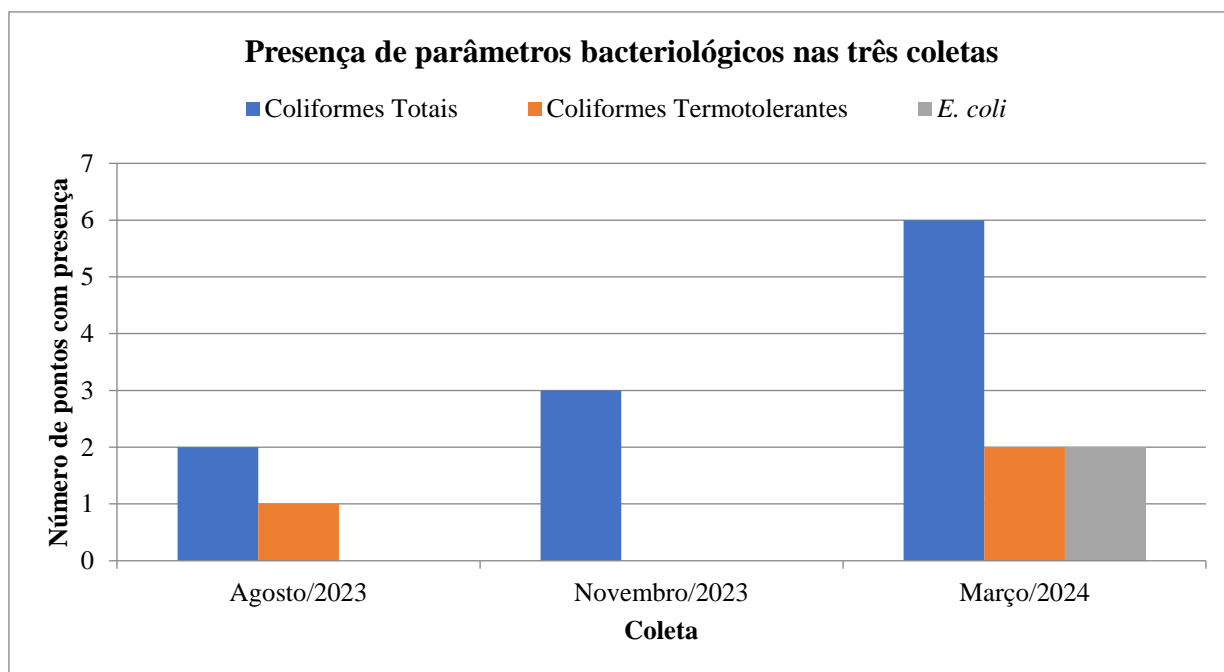
Esse comportamento pode estar relacionado às características naturais dos solos da região, ricos em matéria orgânica, além de processos geoquímicos locais, como a presença de solos ácidos, elevada pluviosidade, lixiviação intensa e matéria orgânica em decomposição (Silva *et al.*, 2009). A acidez da água, quando persistente, pode causar corrosão em sistemas hidráulicos, além de representar riscos à saúde humana, como irritação gástrica e distúrbios intestinais (Silva Junior *et al.*, 2021; Silva Vilhena, 2025).

Em relação aos parâmetros bacteriológicos, observou-se ausência de *Escherichia coli* nas amostras analisadas em agosto e novembro de 2023. Além da ausência de *E. coli* nas duas coletas, foi observado a baixa frequência de coliformes totais e termotolerantes, onde na primeira coleta o ponto P1 foi positivo para coliformes termotolerantes e os pontos P3 e P6 positivos para coliformes totais. Enquanto na segunda coleta, teve ausência de coliformes termotolerantes em todos os pontos analisados e positividade para coliformes totais nos pontos P1, P3 e P9.

A ausência de *E. coli* e a baixa frequência de coliformes nas coletas 1 e 2, pode estar associada ao fato que as coletas foram realizadas no período compreendido como “verão amazônico”, caracterizado pelo período seco, com ausência de chuvas e aumento de temperaturas (Silva, 2022). Além disso, vale ressaltar, que a portaria do GM/MS nº 888/2021, aponta que em águas provenientes de poços ou outras fontes de abastecimento, poderá haver a presença de coliformes, porém deve haver ausência total de *Escherichia coli* (Brasil, 2021; Oliveira *et al.*, 2023)

Na coleta realizada em março de 2024, houve positividade para ambos microrganismos. Os pontos P4 e P6 apresentaram presença de *E. coli*, coliformes totais e termotolerantes. O ponto P1 apontou presença somente de coliformes termotolerantes e os pontos P2, P3, P5 e P8 apresentaram somente positividade para coliformes totais.

O gráfico abaixo mostra um comparativo da presença de *E. coli*, coliformes totais e termotolerantes nas três coletas realizadas.



**Figura (3):** Variação temporal da ocorrência de parâmetros bacteriológicos nas campanhas de coleta no distrito de Auxiliadora. Fonte: autora

Ao fazer esta análise, foi possível perceber uma degradação da qualidade bacteriológica da água especialmente na terceira coleta, a qual está inserida no “inverno amazônico”. Segundo Silva (2022), o “inverno amazônico” é caracterizado como a época chuvosa ou das grandes chuvas, compreendendo o período entre os meses de julho a dezembro.

No período chuvoso, o escoamento superficial e a recarga hídrica se intensificam potencializando a percolação de contaminantes, principalmente em sistema de captação mal

protegido. Araújo e Abreu (2015), em seu estudo constataram o aumento de coliformes em 60% dos poços analisados no período chuvoso.

O aumento expressivo de coliformes totais na última coleta (60% dos pontos), reforça a ideia de comprometimento de proteção sanitária ao redor dos poços. Corroborando com os estudos de Saling *et al.* (2017) e Costa *et al.* (2018), ambos os estudos apontam a positividade para coliformes devido à ausência de condições sanitárias adequadas e proximidades com fossas negras.

A presença de *E. coli* é um indicativo de contaminação fecal recente, geralmente associada a fezes humanas ou de animais (Silva *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2023). De acordo com a portaria do GM/MS nº 888/2021, qualquer contaminação por *E. coli* torna a água imprópria para consumo.

#### 4 CONCLUSÕES

A análise da qualidade da água realizada no distrito de Auxiliadora, zona rural de Humaitá-AM, indicou que, com exceção do pH, todos os parâmetros físico-químicos estão em conformidade com os limites estabelecidos pela Portaria do GM/MS nº 888/2021 e pela Resolução CONAMA nº 396/2008.

O pH, nas três campanhas realizadas, apresentou valores abaixo do mínimo recomendado pela legislação (6,0), demonstrando uma acidez recorrente nas amostras. Essa condição pode estar associada a fatores naturais da região, como sólidos ácidos, alta pluviosidade e matéria orgânica em decomposição, retratando um risco potencial à saúde dos comunitários.

No que se refere aos parâmetros bacteriológicos, foi possível observar um padrão sazonal. Nas coletas realizadas durante o período seco que coincide com o “verão amazônico”, a qualidade microbiológica da água foi satisfatória, com ausência de *Escherichia coli* e baixa ocorrência de coliformes totais e termotolerantes.

No entanto, na terceira coleta, realizada no período chuvoso que coincide com o “inverno amazônico”, revelou deterioração da qualidade microbiológica, com presença de *E. coli* em dois pontos, coliformes termotolerantes em três pontos e coliformes totais em 60% das amostras.

Esses resultados apontam para contaminação fecal recente e comprometimento sanitário, possivelmente em decorrência da ausência de proteção física dos poços, proximidade

de fossas negras e infiltração de esgotos domésticos, intensificada pela recarga hídrica do período chuvoso.

Destarte, apesar que, a maioria dos parâmetros analisados estejam dentro dos padrões sanitários exigidos pela legislação, a acidez da água e a contaminação sazonal configuram riscos que merecem atenção das autoridades, no que diz respeito às condições sanitárias adequadas, fazendo-se necessário o fortalecimento da vigilância da qualidade da água, principalmente nos períodos chuvosos, como também, medidas de educação ambiental voltadas à comunidade, a fim de garantir a segurança hídrica e a saúde pública da população local.

## 5 REFERÊNCIAS

APHA, Awwa. Wpcf. (2012) Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association, Washington**, 2012.

ARAÚJO, Paulo Pontes; DE ABREU, Francisco de Assis Matos. Variação sazonal de coliformes em poços de águas rasas: estudo de caso em área urbana, Pará. **Águas Subterrâneas**, 2015.

BRASIL. CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 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: <[www.mma.gov.br/port/conama](http://www.mma.gov.br/port/conama)>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Portaria nº. 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: Acesso em 15 de fevereiro de 2023.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 2022. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/11/Fluore-fluoretos.pdf>/. Acesso: 23 de mai. 2023.

COSTA, Tayson Antonio Ceron da Rodrigues et al. Avaliação da qualidade de águas de poços cacimbas e rasos no município de Humaitá-AM. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 20, n. 1, Jan-Jun, p. 157-172, 2018.

FERREIRA, Laura Almeida et al. Avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 721-729, 2021.

OLIVEIRA, Benone Otávio Souza de et al. Qualidade da Água para Consumo Humano em Comunidades Rurais no Sudoeste da Amazônia. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 12, n. 3, p. 305-317, 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 6 fevereiro 2025.

SALING, Caroline et al. Avaliação da qualidade da água de poços rasos no município de colinas-RS. **Tecnológica**, v. 21, n. 2, p. 59-64, 2017.

SHAH, C. R. Which Physical, Chemical and Biological Parameters of water determine its quality? June. 2017.

SILVA et al. Impacto Físico-Químico da Deposição de Esgotos em Fossas Sobre As Águas de Aquífero Freático Em Jiparaná -Ro. REA –Revista de estudos ambientais(Online) v.11, n. 2, p. 101-112, jul./dez. 2009.

SILVA JÚNIOR, Adalberto Francisco da et al. **Análise da acidez de águas de poços oriundos da zona rural e zona urbana no município de Vitória de Santo Antão-PE**. In: **CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC**, 2021, 15 a 17 de setembro. Anais [...]. [S.l.]: CONFEA/CREA, 2021.

SILVA VILHENA, Michely da; DINIZ, Victor Wagner Bechir. Análise físico-química das águas dos poços semi artesianos em Vigia de Nazaré: avaliação da conformidade com padrões para consumo humano. **Águas Subterrâneas**, v. 39, n. 1, p. e30299-e30299, 2025.

SILVA, Aldeni Barbosa da et al. Análise microbiológica da água utilizada para consumo nas escolas de Esperança, Paraíba. 2017.

SILVA, Andréa dos Santos et al. **Qualidade de água de abastecimento na zona rural de Santa Rita-PB e propostas de melhoria**. 2019. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.

SILVA, Zilmar Lima da. " Verão e inverno amazônico": perspectiva meteorológica e a percepção dos moradores do município de Manaus/AM. 2022.

ZAMBONI, Silvia Aparecida Schmith. Avaliação da potabilidade de água bruta no município de Bandeirantes-PR. 2019.



## CAPÍTULO II

### APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (IQNAS) NO DISTRITO DE AUXILIADORA, ZONA RURAL DE HUMAITÁ-AM

#### 1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água subterrânea é crucial para a saúde pública, particularmente em áreas rurais que se apoiam diretamente em poços e nascentes para o consumo doméstico (Cunha *et al.*, 2020; Scalize *et al.*, 2021). No Brasil, vastas áreas rurais enfrentam dificuldades no acesso a sistemas de tratamento e monitoramento da água, tornando fundamental o uso de indicadores que permitam avaliar de forma integrada a qualidade da água para consumo humano (Scalizer *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022)

Entre os vários indicadores utilizados, o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS), foi desenvolvido em 2004 por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia (UFBA), criado com o propósito de refletir as características hidrogeoquímicas específicas das águas subterrâneas em distintas regiões do Brasil, especialmente no contexto baiano (Oliveira, 2019).

O IQNAS apresenta-se como uma metodologia eficaz e de relevante aplicabilidade para a sociedade em geral, seu uso permite diagnosticar a qualidade hídrica a partir da ponderação de variáveis críticas, como pH, cloreto, nitrato, sólidos totais, dureza e fluoreto (Oliveira *et al.*, 2007, Oliveira, 2019; Dattein *et al.*, 2024).

A aplicação deste índice, permite não apenas identificar possíveis contaminações, mas também contribuir significativamente para programas de monitoramento dos recursos hídricos, ao viabilizar a avaliação sazonal da qualidade da água, possibilitando análises comparativas e a consequente classificação do nível de qualidade do manancial, subsidiando decisões quanto aos usos adequados da água disponível (Oliveira *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2023).

O distrito de Auxiliadora, situado na zona rural do município de Humaitá-AM, representa uma área de grande importância socioambiental, onde a população depende integralmente das águas subterrâneas para o consumo. Entretanto, a ausência de sistemas de tratamento torna necessária a aplicação de ferramentas que assegurem o monitoramento da potabilidade dessa água.

Portanto, este capítulo tem como objetivo aplicar o IQNAS para avaliar a qualidade da água subterrânea consumida pela população do distrito de Auxiliadora, apresentando os resultados obtidos a partir das coletas realizadas em diferentes campanhas de amostragem. A análise busca compreender a influência dos parâmetros monitorados na classificação final da água, contribuindo para o diagnóstico ambiental da região.

## 2 METODOLOGIA

O cálculo do IQNAS foi realizado seguindo metodologia adotada por Oliveira *et al.* (2007), que buscou informações sobre a influência da composição litológica das unidades hidrogeoquímicas na qualidade da água.

A fórmula matemática escolhida para o IQNAS foi a mesma utilizada para o IQA, da CETESB. Os parâmetros escolhidos para serem utilizados no cálculo do IQNAS foram pH, cloreto, sólidos totais, fluoreto, dureza e nitrato.

O IQNAS é igual ao produto dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido ( $Q_i$ ), elevado ao peso atribuído a cada variável ( $W_i$ ).

Logo:

$$\text{IQNAS} = \sum_{i=1}^n Q_i^{w_i}, \text{ ou seja, } \text{IQNAS} = \text{Produto } (Q_i)^{w_i} = (Q_1)^{w_1} \times (Q_2)^{w_2} \times (Q_3)^{w_3} \times \dots (Q_n)^{w_n}.$$

Os pesos ( $w_i$ ), que representam a influência de cada parâmetro no cálculo do IQNAS, foram determinados com base na equação matemática da “Qualidade pela Concentração” de cada parâmetro (Tabela 8).

A tabela abaixo apresenta as equações matemáticas utilizadas para calcular a qualidade da água ( $Q_i$ ) de cada parâmetro, incluindo os intervalos, raios e pesos atribuídos a cada parâmetro.

**Tabela (7):** Equações matemáticas da Qualidade versus Concentração do parâmetro.

| Parâmetros e Unidades                              | Equações Matemáticas  | Intervalos de Validades                                      | R <sup>2</sup> | Pesos (W <sub>i</sub> ) |
|--|---|--|----------------|-------------------------|
| <b>pH</b><br>(-)                                   | $Q_{pH} = 1,7354 \times (pH)^2$<br>$Q_{pH} = 16405 \times [(pH)-2,5] - 17$                    | $[2 \leq pH \leq 7,34]$<br>$[pH \geq 7,35]$                  | 0,990          | 0,05                    |
| <b>Cloreto</b><br>(Cl, mg/L <sup>-1</sup> )        | $Q_{Cl} = 100$<br>$Q_{Cl} = 138,9 \times (Cl) - 0,19561 \times (Cl) - 0,42$<br>$Q_{Cl} = 0,0$ | $[Cl < 4,86]$<br>$[4,86 \leq Cl \leq 3000]$<br>$[Cl > 3000]$ | 0,916          | 0,26                    |
| <b>Sólidos Totais</b><br>(ST, mg/L <sup>-1</sup> ) | $Q_{ST} = 79 - 0,167284 \times ST + EXP$<br>$[(RT)0,228]$<br>$Q_{ST} = 27,7$                  | $[0 \leq ST \leq 1630]$<br>$[ST > 1630]$                     | 0,990          | 0,22                    |
| <b>Dureza</b><br>(D, mg/L <sup>-1</sup> )          | $Q_{DUR} = 100$<br>$Q_{DUR} = 101,1 \times EXP (-0,00212 \times DUR)$                         | $[DUR < 5,4]$<br>$[DUR \geq 5,4]$                            | 0,949          | 0,16                    |
| <b>Fluoreto</b>                                    | $Q_F = 80 + 21 \times F - (F)11,8283$   | $[0 \leq F \leq 1,5]$  | 0,924          | 0,16                    |

|   |                              |           |       |      |
|---|------------------------------|-----------|-------|------|
| (F, mg/L <sup>-1</sup> )                                    | QF = 0,0                     | [F > 1,5] |       |      |
| <b>Nitrato</b><br>(N-NO <sub>3</sub> , mg/L <sup>-1</sup> ) | QN = 100 x EXP (-0,0994 x N) | [N ≥ 0,0] | 0,993 | 0,15 |
| <b>SOMA TOTAL DOS PESOS</b>                                 |                              |           |       | 1,0  |

Fonte: adaptado de Oliveira *et al.* (2007).

Para calcular a qualidade da água (Qi) foi utilizado os seguintes valores de cada parâmetro resultante da avaliação físico-química da qualidade da água no distrito de Auxiliadora (Tabela 9).

**Tabela (8):** Concentrações dos parâmetros analisados e respectivos valores utilizados para o cálculo do Qi.

| Parâmetro             | Amostra | 1ª coleta | 2ª coleta | 3ª coleta |
|-----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| <b>pH</b>             | P1      | 4,39      | 4,75      | 5,49      |
|                       | P2      | 4,41      | 4,73      | 5,36      |
|                       | P3      | 4,46      | 4,68      | 5,43      |
|                       | P4      | 4,51      | 4,75      | 5,67      |
|                       | P5      | 4,41      | 4,89      | 5,34      |
|                       | P6      | 4,45      | 4,79      | 5,37      |
|                       | P7      | 4,45      | 5,1       | 5,38      |
|                       | P8      | 4,4       | 4,84      | 5,58      |
|                       | P9      | 4,42      | 4,81      | 5,37      |
|                       | P10     | 4,41      | 4,81      | 5,25      |
| <b>Cloreto</b>        | P1      | 11,5      | 0         | 0         |
|                       | P2      | 18        | 0         | 0         |
|                       | P3      | 16        | 0         | 0         |
|                       | P4      | 20,5      | 0         | 0         |
|                       | P5      | 18,5      | 0         | 0         |
|                       | P6      | 19,5      | 0         | 0         |
|                       | P7      | 9,5       | 0         | 0         |
|                       | P8      | 12,5      | 0         | 0         |
|                       | P9      | 9         | 0         | 0         |
|                       | P10     | 15,5      | 0         | 0         |
| <b>Sólidos Totais</b> | P1      | 9         | 7         | 5         |
|                       | P2      | 9         | 8         | 6         |
|                       | P3      | 6         | 5         | 1,5       |
|                       | P4      | 10        | 4,5       | 2,5       |
|                       | P5      | 9         | 5         | 3         |
|                       | P6      | 8,5       | 6         | 6         |
|                       | P7      | 8         | 6         | 5         |
|                       | P8      | 7         | 7         | 5,5       |
|                       | P9      | 7         | 5,5       | 4,5       |

|                 | P10 | 7    | 6    | 5    |
|-----------------|-----|------|------|------|
| <b>Fluoreto</b> | P1  | 0,54 | 0,29 | 0,13 |
|                 | P2  | 0,56 | 0,23 | 0,35 |
|                 | P3  | 0,14 | 0,16 | 0,27 |
|                 | P4  | 0,28 | 0,19 | 0,23 |
|                 | P5  | 0,76 | 0,25 | 0,22 |
|                 | P6  | 0,42 | 0,23 | 0,2  |
|                 | P7  | 0,21 | 0,24 | 0,17 |
|                 | P8  | 0,57 | 0,21 | 0,17 |
|                 | P9  | 0,42 | 0,19 | 0,16 |
|                 | P10 | 0,13 | 0,23 | 0,16 |
| <b>Dureza</b>   | P1  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P2  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P3  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P4  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P5  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P6  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P7  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P8  | 64   | 61   | 60   |
|                 | P9  | 60   | 60   | 60   |
|                 | P10 | 60   | 60   | 60   |
| <b>Nitrato</b>  | P1  | 0    | 0,28 | 0,21 |
|                 | P2  | 0    | 0,65 | 0,17 |
|                 | P3  | 0    | 0,12 | 0,12 |
|                 | P4  | 0    | 0,12 | 0,12 |
|                 | P5  | 0    | 0,12 | 0,12 |
|                 | P6  | 0    | 0,12 | 0,12 |
|                 | P7  | 0    | 0,12 | 0,12 |
|                 | P8  | 0    | 0,12 | 0,21 |
|                 | P9  | 0    | 0,12 | 0,12 |
|                 | P10 | 0    | 0,12 | 0,23 |

Fonte: autora.

O IQNAS é classificado em categorias, com índices que variam de 0 a 100. A classificação dos resultados da avaliação da qualidade da água foi agrupada em quatro categorias, conforme demonstrado na tabela abaixo.

**Tabela (9):** Faixas de Classificação do IQNAS.

| <b>Classificação</b> | <b>Faixa do IQNAS</b>           | <b>Descrição</b>  |
|----------------------|---------------------------------|---|
| <b>Ótima</b>         | $80 \leq \text{IQNAS} \leq 100$ | Qualidade natural excelente, sem restrições significativas. |

|                    |                                |   |
|--------------------|--------------------------------|---|
| <b>Boa</b>         | $52 \leq \text{IQNAS} \leq 79$ | Qualidade natural satisfatória, com pequenas limitações.          |
| <b>Aceitável</b>   | $37 \leq \text{IQNAS} \leq 51$ | Qualidade natural moderada, com restrições perceptíveis.          |
| <b>Inaceitável</b> | $0 \leq \text{IQNAS} \leq 36$  | Qualidade natural insuficiente para o uso, com restrições graves. |

Fonte: autora.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada coleta, foi determinado o valor de qualidade ( $Q_i$ ) de cada parâmetro em todos os pontos de amostragem. Esses valores refletem a influência individual de cada variável na composição do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS). Os resultados obtidos, que evidenciam a qualidade da água em função dos parâmetros analisados, estão organizados na tabela a seguir.

**Tabela (10):** Valores de  $Q_i$  para os parâmetros analisados em cada amostragem.

| Parâmetro             | Amostra    | Q1 | Q2  | Q3  | Média ( $Q_i$ ) |
|-----------------------|------------|----|-----|-----|-----------------|
| <b>pH</b>             | <b>P1</b>  | 33 | 39  | 52  | 41              |
|                       | <b>P2</b>  | 34 | 39  | 50  | 41              |
|                       | <b>P3</b>  | 35 | 38  | 51  | 41              |
|                       | <b>P4</b>  | 35 | 39  | 56  | 43              |
|                       | <b>P5</b>  | 34 | 41  | 49  | 41              |
|                       | <b>P6</b>  | 34 | 40  | 50  | 41              |
|                       | <b>P7</b>  | 34 | 45  | 50  | 43              |
|                       | <b>P8</b>  | 34 | 41  | 54  | 43              |
|                       | <b>P9</b>  | 34 | 40  | 50  | 41              |
|                       | <b>P10</b> | 34 | 40  | 48  | 41              |
| <b>Cloreto</b>        | <b>P1</b>  | 83 | 100 | 100 | 94              |
|                       | <b>P2</b>  | 76 | 100 | 100 | 92              |
|                       | <b>P3</b>  | 78 | 100 | 100 | 93              |
|                       | <b>P4</b>  | 73 | 100 | 100 | 91              |
|                       | <b>P5</b>  | 75 | 100 | 100 | 92              |
|                       | <b>P6</b>  | 74 | 100 | 100 | 91              |
|                       | <b>P7</b>  | 87 | 100 | 100 | 96              |
|                       | <b>P8</b>  | 82 | 100 | 100 | 94              |
|                       | <b>P9</b>  | 88 | 100 | 100 | 96              |
|                       | <b>P10</b> | 78 | 100 | 100 | 93              |
| <b>Sólidos Totais</b> | <b>P1</b>  | 83 | 83  | 82  | 83              |
|                       | <b>P2</b>  | 83 | 83  | 82  | 83              |
|                       | <b>P3</b>  | 82 | 82  | 82  | 82              |
|                       | <b>P4</b>  | 83 | 82  | 82  | 82              |

|                 |            |     |    |    |    |
|-----------------|------------|-----|----|----|----|
|                 | <b>P5</b>  | 83  | 82 | 82 | 82 |
|                 | <b>P6</b>  | 83  | 82 | 82 | 82 |
|                 | <b>P7</b>  | 83  | 82 | 82 | 82 |
|                 | <b>P8</b>  | 83  | 83 | 82 | 83 |
|                 | <b>P9</b>  | 83  | 82 | 82 | 82 |
|                 | <b>P10</b> | 83  | 82 | 82 | 82 |
| <b>Fluoreto</b> | <b>P1</b>  | 91  | 86 | 83 | 87 |
|                 | <b>P2</b>  | 92  | 85 | 87 | 88 |
|                 | <b>P3</b>  | 83  | 83 | 86 | 84 |
|                 | <b>P4</b>  | 86  | 84 | 85 | 85 |
|                 | <b>P5</b>  | 96  | 85 | 85 | 89 |
|                 | <b>P6</b>  | 89  | 85 | 84 | 86 |
|                 | <b>P7</b>  | 84  | 85 | 84 | 84 |
|                 | <b>P8</b>  | 92  | 84 | 84 | 87 |
|                 | <b>P9</b>  | 89  | 84 | 83 | 85 |
|                 | <b>P10</b> | 83  | 85 | 83 | 84 |
| <b>Dureza</b>   | <b>P1</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P2</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P3</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P4</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P5</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P6</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P7</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P8</b>  | 88  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P9</b>  | 89  | 89 | 89 | 89 |
|                 | <b>P10</b> | 89  | 89 | 89 | 89 |
| <b>Nitrato</b>  | <b>P1</b>  | 100 | 97 | 98 | 98 |
|                 | <b>P2</b>  | 100 | 94 | 98 | 97 |
|                 | <b>P3</b>  | 100 | 99 | 99 | 99 |
|                 | <b>P4</b>  | 100 | 99 | 99 | 99 |
|                 | <b>P5</b>  | 100 | 99 | 99 | 99 |
|                 | <b>P6</b>  | 100 | 99 | 99 | 99 |
|                 | <b>P7</b>  | 100 | 99 | 99 | 99 |
|                 | <b>P8</b>  | 100 | 99 | 98 | 99 |
|                 | <b>P9</b>  | 100 | 99 | 99 | 99 |
|                 | <b>P10</b> | 100 | 99 | 98 | 99 |

Fonte: autora.

Observou-se que a qualidade da água referente ao pH é afetada por valores abaixo de 6,0 (variando entre 4,39 e 5,67). Essa acidez natural das águas subterrâneas, comprometeu significativamente a qualidade atribuída ao parâmetro. Na primeira campanha de amostragem, a qualidade foi classificada como insatisfatória; na segunda e na terceira, obteve-se uma classificação de qualidade aceitável.

Por outro lado, os demais parâmetros avaliados — como cloreto, sólidos totais, fluoreto, dureza e nitrato — apresentaram valores de qualidade classificadas como aceitável e excelente, indicando condições favoráveis ao uso da água nos pontos amostrados.

Com a determinação dos valores de qualidade (Qi) para cada parâmetro analisado, foram calculadas as médias das concentrações e das respectivas notas de qualidade. A partir desses dados, foi possível determinar o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) para cada ponto de amostragem, conforme metodologia proposta por Oliveira *et al.* (2007).

Os resultados indicaram valores expressivos do IQNAS, evidenciando uma predominância de boas condições naturais da água subterrânea na área de estudo, conforme descrito na tabela abaixo.

**Tabela (11):** Classificação final da qualidade da água com base no IQNAS no distrito de Auxiliadora.

| AMOSTRA | IQNAS | CLASSIFICAÇÃO |
|---------|-------|---------------|
| P1      | 87    | ÓTIMA         |
| P2      | 86    | ÓTIMA         |
| P3      | 86    | ÓTIMA         |
| P4      | 86    | ÓTIMA         |
| P5      | 86    | ÓTIMA         |
| P6      | 86    | ÓTIMA         |
| P7      | 87    | ÓTIMA         |
| P8      | 87    | ÓTIMA         |
| P9      | 87    | ÓTIMA         |
| P10     | 86    | ÓTIMA         |

Fonte: autora.

O resultado final do IQNAS, indicou índices elevados de qualidade da água, evidenciando a contribuição relativa de cada parâmetro na composição do índice. Embora tenha sido observada acidez persistente (pH baixo), a água foi classificada como “ótima” em todos os pontos de coleta, devido ao excelente desempenho dos demais parâmetros.

A classificação da água como “ótima” em todos os pontos avaliados demonstrou que, apesar das variações individuais entre os parâmetros, o Índice de Qualidade Natural das Águas subterrâneas (IQNAS) revelou uma consistência nos resultados, refletindo uma qualidade geral elevada e sem restrições significativas ao consumo humano na área de estudo.

Tais resultados estão em consonância com os achados de Coutinho *et al.* (2013), que ao aplicar o IQNAS em poços tubulares de uma região semiárida, constataram que o índice classificou a água de todos os poços estudados como de boa qualidade.

Dattein *et al.* (2024), ao utilizarem o IQNAS como método para classificar o índice de qualidade da água subterrânea em área de recarga aquífera, também identificaram

predominância de classificação “ótima”, reforçando a eficácia do índice frente às condições hidrogeoquímicas locais.

Esses resultados corroboraram com os obtidos por Oliveira *et al.* (2007), em que os valores do IQNAS encontrados, quantificaram e qualificaram adequadamente as águas subterrâneas dos principais Domínios Hidrogeológicos ou Aquíferos do Estado da Bahia, confirmando positivamente a eficácia do IQNAS como ferramenta de avaliação ambiental que valoriza as condições naturais da água subterrânea, sobretudo em contextos geológicos preservados e com baixa influência antrópica.

A consistência nos altos valores de IQNAS obtidos neste estudo sugere que a composição litológica local e os processos naturais de filtração subterrânea contribuem significativamente para a manutenção da qualidade da água. Dessa forma, os dados reforçam a importância de monitoramentos contínuos e da utilização de índices específicos como o IQNAS para subsidiar políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

#### **4 CONCLUSÕES**

A aplicação do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) na área de estudo, permitiu determinar a qualidade da água utilizada pelos moradores do distrito. Os resultados demonstraram que, apesar da acidez observada, resultante de valores de pH abaixo do determinado pela legislação, os demais parâmetros, como cloreto, nitrato, dureza, fluoreto e sólidos totais, apresentaram uma ótima qualidade, que contribuíram na determinação do índice geral de qualidade.

O IQNAS revelou-se uma ferramenta eficaz na avaliação ambiental, permitindo identificar, de maneira objetiva, a influência relativa de cada variável na classificação final da água. A predominância da classe como “ótima” em todos os pontos de coleta evidencia a boa qualidade da água subterrânea da região, apesar das limitações locais, como ausência de tratamento e sazonalidade climática.

No entanto, é importante destacar que o IQNAS não considera parâmetros bacteriológicos, como coliformes, que em alguns momentos apresentaram contaminação. Embora o índice aponte uma boa qualidade geral, é importante a avaliação bacteriológica.

Portanto, os achados deste estudo reforçam a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água, bem como adoção de políticas públicas que garantam o uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.



A utilização do IQNAS se mostrou uma ferramenta eficaz para simplificar a comunicação dos resultados e orientar tomadas de decisão, mas deve ser sempre complementada por análises bacteriológicas para garantir uma avaliação completa da potabilidade da água.

Além disso, o emprego de índices como o IQNAS demonstrou-se uma metodologia acessível, interpretável e cientificamente validada que pode ser aplicada em áreas remotas, como áreas rurais.

## 5 REFERÊNCIAS

- COUTINHO, Jaqueline Vígolo et al. Avaliação Integrada da Qualidade da Água Subterrânea em uma Bacia Hidrográfica Representativa do Litoral da Região Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 18, n. 4, p. 197-212, 2013.
- CUNHA, Geremias Dourado da et al. Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 2, p. 1-9, 2020.
- DATTEIN, Guilherme Sandrin et al. Aplicabilidade dos índices de qualidade das águas subterrâneas IQNAS e IRQ no Sistema Aquífero Serra Geral. In: **Anais do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental: volume 1A: resumos**. 2024.
- LIMA, Fernando Santos et al. Escherichia coli, Species C Human Adenovirus, and Enterovirus in Water Samples Consumed in Rural Areas of Goiás, Brazil. **Food and Environmental Virology**, p. 1-12, 2021.
- OLIVEIRA, Clélia Nobre de. Aplicação de índice de qualidade de água subterrânea em ambiente de percolados orgânicos na região de Camaçari-BA. 2019.
- OLIVEIRA, Iara Brandão de; NEGRÃO, Francisco Inácio; SILVA, Alessandra Gomes Lopes Sampaio. Aplicação do índice de qualidade natural da água subterrânea (IQNAS) para os domínios hidrogeológicos do estado da Bahia. **Águas Subterrâneas**, 2006.
- OLIVEIRA, Iara Brandão de; NEGRÃO, Francisco Inácio; SILVA, Alessandra Gomes Lopes Sampaio. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas–IQNAS. **Águas Subterrâneas**, v. 21, n. 1, 2007.
- OLIVEIRA, Paulo Tetsuo de; RAMIRES, Ivan. Análise da qualidade das águas de poços rasos no assentamento Itamarati em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 88-114, 2019.
- OLIVEIRA, Jonas Faria Dionísio de et al. Water quality in microbasins and springs of the mineral water region of Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 3, p. 222, 2022.
- ROCHA, Paulino Estevez et al. XV Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe Avaliação de parâmetros físico-químicos e aplicação do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) para poços no domínio cárstico da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí. 2023.
- SCALIZE, Paulo Sérgio et al. Physicochemical, microbiological quality, and risk assessment of water consumed by a quilombola community in midwestern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 35941-35957, 2021.