



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE
UNIDADE ACADÊMICA DE BIOLOGIA E QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

JEMESSON MATEUS DE MEDEIROS ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE
AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE OURO BRANCO-RN**

CUITÉ-PB

2023

JEMESSON MATEUS DE MEDEIROS ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE
AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE OURO BRANCO–RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Química do Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Cuité, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez

CUITÉ-PB

2023

A663c Araújo, Jemesson Mateus de Medeiros.

Caracterização dos parâmetros físico-químicos de amostras de água subterrâneas da região de Ouro Branco - RN. / Jemesson Mateus de Medeiros Araújo. - Cuité, 2023.
63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2023.

"Orientação: Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez".

Referências.

1. Água. 2. Água - qualidade. 3. Água - parâmetros físico-químicos. 4. Água subterrânea. 5. Água subterrânea - Ouro Branco - RN. I. Velardez, Gustavo Fabián. II. Título.

CDU 556(043)

JEMESSON MATEUS DE MEDEIROS ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE
AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE OURO BRANCO–RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Química do Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Cuité, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Trabalho aprovado em 07 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

GUSTAVO FABIAN VELARDEZ

Data: 02/12/2023 16:45:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



Documento assinado digitalmente

DENISE DOMINGOS DA SILVA

Data: 02/12/2023 20:24:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Denise Domingos da Silva
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



Documento assinado digitalmente

JOANA MARIA DE FARIAS BARROS

Data: 02/12/2023 16:29:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Joana Maria de Farias Barros
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

*A Deus por toda graça, aos meus pais
Célio Martins e Cledina Cristine e a
minha namorada Taynara que sempre
esteve ao meu lado me apoiando.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre ao meu lado me dando força, coragem e saúde para superar todas as dificuldades da vida.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais Célio Martins e Cledina Cristine por todo apoio, agradeço também aos meus irmãos Jennifer, Jenson, Jefferson Rodrigues e Jessyca que depositaram confiança em mim.

Agradeço a minha namorada Taynara por sempre me apoiar e por todo incentivo para que esse objetivo tornasse possível.

Aos meus avós Maria de Fátima e Benedito Egídio por toda ajuda, além da minha tia Cleneideana e meu primo Diego por toda disponibilidade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez que confiou em mim e aceitou ser meu orientador. Por toda paciência, atenção, orientação e auxílio na correção desse trabalho. Sou muito grato ao senhor por todo ensinamento prestado à minha pessoa.

Aos meus amigos Walison, Andrew Diego, Higor, Ismael, Leandro, João Pedro, Aysla, Vivian, Camila, Lidiane, Jennyfer, que me ajudaram e fizeram companhia no curso e na Residência Pedagógica, obrigado por todos os momentos vividos.

Agradeço aos meus colegas Ismael, Leandro, Jennyfer, Jefferson por toda ajuda prestada nas análises químicas dessa pesquisa.

Aos meus colegas da Residência Universitária, por todos os momentos vividos, resenhas perrengues e aprendizados. Em especial aos amigos Alandson, Abimael, Juan, José Soares, Ismael e Leandro. Meu muito obrigado, sentirei saudades.

Às professoras Edna Silva e Anamélia de Medeiros Dantas Raulino por terem me aceitado como estagiário, por todo aprendizado, paciência, parceria e conhecimento compartilhado durante suas aulas.

Às professoras Dra. Joana Maria de Farias Barros e Dra. Denise Domingos da Silva por aceitarem o convite para compor a banca examinadora e por todo ensinamento prestado no decorrer do curso.

A todos os professores do curso de Licenciatura em Química por todo conhecimento e experiência, em especial ao Prof. Marciano por ter me ajudado no início do curso quando as coisas estavam difíceis e eu estava pensando em desistir. Os senhores são inspiração para mim. Agradeço de coração!

Agradeço também a Naldinho, Rômulo, Pedro, Adeval e Mimiú por cederem as amostras para análise nessa pesquisa.

À Moábio (Abinha), Maria José (Xuxinha), Milena, Pedro, Ítalo, Dilma, Maria Lúcia (Totói), Maria Fátima, Pedro de Dudu e a todos os motoristas do município de Ouro Branco/RN por todo apoio e ajuda à minha pessoa.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para que este trabalho se realizasse da melhor maneira possível. A minha gratidão e carinho a todos!

“A diferença entre o que fazemos e o que somos capazes de fazer seria suficiente para resolver a maioria dos problemas do mundo.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

A água é fundamental para o bem-estar e sobrevivência de todos os seres vivos, desempenhando papéis cruciais em diversos aspectos da vida e do meio ambiente, além de desempenhar grande relevância para a agricultura e indústria, e ser essencial para o uso doméstico e consumo humano. Entretanto, para consumo humano, a água deve estar em conformidade com os valores padrão estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Portanto, esse trabalho determinou a caracterização dos parâmetros físico-químicos (pH, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza total e cloretos) de cinco amostras de águas subterrâneas da região do município de Ouro Branco – RN comparando-os com os padrões para potabilidade de água estabelecidos pelo Ministério da Saúde, através das portarias n° 5/2017 e n.º 888/2021. Apenas a amostra 1 (Adeval) se mostrou em conformidade com os parâmetros (pH, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza total e cloretos) físico-químicos estabelecidos pelo MS, onde apresentou pH igual a 6,98, alcalinidade atingiu 158 mg.L⁻¹, enquanto a turbidez alcançou 1,42 NTU, condutividade elétrica 1071 µS.cm⁻¹, dureza total de 294 mg.L⁻¹ e cloretos apresentou uma concentração de 152 mg.L⁻¹. Embora as demais amostras estejam em conformidade com alguns parâmetros, para outros parâmetros apresentou valores acima do valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde. Para pH e turbidez, todas as amostras mostraram-se em conformidade. Para cloretos apenas a amostra 1 estava dentro do valor padrão e para dureza total apenas a amostra 1 e a amostra 2 apresentaram valores abaixo do valor máximo permitido.

Palavras-chave: recursos hídricos, qualidade da água, parâmetros físico-químicos, água.

ABSTRACT

Water is essential for the well-being and survival of all living beings, playing crucial roles in various aspects of life and the environment, in addition to being of great importance to agriculture and industry, and essential for domestic use and human consumption. However, for human consumption, water must comply with the standard values established by the Ministry of Health. Therefore, this study determined the characterization of the physico-chemical parameters (pH, turbidity, electrical conductivity, alkalinity, total hardness, and chlorides) of five groundwater samples from the Ouro Branco municipality region in RN, comparing them with the water potability standards established by the Ministry of Health through ordinances N.º 5/2017 and N.º 888/2021. Only sample 1 (Adeval) showed compliance with the physico-chemical parameters (pH, turbidity, electrical conductivity, alkalinity, total hardness, and chlorides) established by the Ministry of Health, with a pH of 6.98, alkalinity of 158 mg.L⁻¹, turbidity of 1.42 NTU, electrical conductivity of 1071 µS.cm⁻¹, total hardness of 294 mg.L⁻¹, and chlorides concentration of 152 mg.L⁻¹. Although the other samples comply with some parameters, for other parameters, they showed values above the maximum allowed by the Ministry of Health. For pH and turbidity, all samples were in compliance. For chlorides, only sample 1 was within the standard value, and for total hardness, only samples 1 and 2 had values below the maximum allowed.

Keywords: water resources, water quality, physico-chemical parameters, water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Localização de Ouro Branco/RN.....	32
Figura 2A – Pontos de coleta das amostras: 1, Adeval; 3, Rômulo; 4, Mimiú; 5, Naldinho.....	34
Figura 2B – Ponto de coleta da amostra: 2 Sítio Carnaubinha.....	35
Figura 3 - pHmetro utilizado para medições de pH das amostras.....	36
Figura 4 - Condutivímetro utilizado para medições da CE das amostras.....	37
Figura 5 - Fluxograma da determinação da Alcalinidade.....	38
Figura 6 – Fluxograma da determinação de Dureza.....	39
Figura 7 – Turbidímetro utilizado para medições de Turbidez.....	40
Figura 8 – Fluxograma da determinação de Cloretos.....	41

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Medidas de pH.....	43
Gráfico 2 – Medidas de CE.....	44
Gráfico 3 – Medidas de Turbidez.....	46
Gráfico 4 – Medidas de Dureza total, CaCO_3 e MgCO_3	48
Gráfico 5 – Distribuição de espécies de ácido carbônico em função do pH.....	50
Gráfico 6 – Medidas de Alcalinidade.....	51
Gráfico 7 – Medidas do Teor de Cloro.....	53

TABELAS

Tabela 1 – Locais das amostras e profundidades dos poços.....	33
Tabela 2 – Amostras e seus respectivos locais e coordenadas geográficas de coleta	34
Tabela 3 – Medidas de pH.....	42
Tabela 4 - Medidas de CE.....	43
Tabela 5 - Medidas de Turbidez.....	45
Tabela 6 - Medidas de Dureza com 95% de confiança.....	47
Tabela 7 - Medidas de Alcalinidade com 95% de confiança.....	49
Tabela 8 - Medidas de Cloretos com 95% de confiança.....	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão de das Águas
ANA	Agência Nacional das Águas
AWWA	American Water Works Association
CE	Condutividade Elétrica
CES	Centro de Educação e Saúde
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGRAC	Centro Internacional de Avaliação de Recursos de Águas Subterrâneas
MS	Ministério da Saúde
NET	Negro de Eriocromo T
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
ONU	Organização das Nações Unidas
PB	Paraíba
PET	Politereftalato de etileno
RN	Rio Grande do Norte
TOC	Conteúdo Orgânico Total

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

\pm	Mais ou menos
%	Porcentagem
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
Ca^{2+}	Cálcio (II)
CaCl_2	Cloreto de Cálcio
CaCO_3	Carbonato de cálcio
Cl^{-}	Cloreto
CO_3^{-}	Carbonato
$\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	Grama por mol
H_2O	Água
H_3O^{+}	Íon hidrônio
HCO_3^{-}	Bicarbonato
K^{+}	Potássio (I)
KCl	Cloreto de potássio
Km	Quilômetro
Km^2	Quilômetro quadrado
L	Litro
m^3	Metro cúbico
Mg^{2+}	Magnésio (II)
MgCO_3	Carbonato de magnésio
$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Miligrama por litro
mL	Mililitro

mm	Milímetro
$\mu\text{S. cm}^{-1}$	Microsiemens por centímetro
Na^+	Sódio (I)
NaCl	Cloreto de sódio
NH_3	Amônia
NH_4^+	Íon amônio
NO_3^-	Nitrato
OH^-	Íon hidróxido
PM	Peso molecular
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão (ou mg. L^{-1})
SO_4^{2-}	Sulfato

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo Geral	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
3.1 Água.....	24
3.1.1 A água no Brasil.....	25
3.1.2 Uso de água na agricultura.....	25
3.1.3 Águas para o consumo humano.....	26
3.1.4 Águas subterrâneas.....	26
3.2 Aspectos físico-químicos da Água.....	27
3.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	27
3.2.2 Condutividade Elétrica (CE).....	28
3.2.3 Alcalinidade.....	28
3.2.4 Dureza Total.....	29
3.2.6 Turbidez.....	30
3.2.7 Cloretos	31
4 METODOLOGIA	32
4.1 Local de estudo.....	32
4.2 Amostragem	33
4.3 Caracterização dos parâmetros Físico-Químicos.....	35
4.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	35
4.3.2 Condutividade Elétrica	36
4.3.3 Alcalinidade.....	37
4.3.4 Dureza Total.....	38

4.3.5 Turbidez.....	39
4.3.7 Teor de Cloro	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 Caracterização dos parâmetros: pH, Condutividade e Turbidez ..	41
5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	42
5.1.2 Condutividade Elétrica.....	43
5.1.3 Turbidez.....	45
5.2 Caracterização do parâmetro: Dureza	46
5.3 Caracterização do parâmetro: Alcalinidade.....	48
5.4 Caracterização do parâmetro: Cloretos.....	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema crescente presente em todos os continentes, afetando principalmente as populações menos favorecidas (UN-WATER, 2023). Mais de 1,2 bilhão da população mundial vive em áreas de escassez física de água e cerca de 1,6 bilhão de pessoas enfrentam desafios relacionados à “economia” de água, onde os recursos financeiros ou a capacidade humana são insuficientes para desenvolver meios que levem recursos hídricos adequados a essas pessoas (Molden, 2013). Em 2021, mais de 2 bilhões de pessoas viviam em países com escassez de água, situação essa que poderá ser agravada em algumas regiões devidas as mudanças climáticas e o crescimento da população (WHO, 2023).

No Brasil, de 2019 a 2021, aproximadamente 44 milhões de pessoas foram afetadas por secas e estiagens onde, somente em 2021, foram 12 milhões de pessoas afetadas em 1.155 municípios diferentes, sendo contabilizados 1.950 eventos onde 67,4% desses ocorreu no Nordeste, região em que vivem cerca de 81% das pessoas afetadas por estiagens e secas no ano de 2021 (ANA, 2023).

Estima-se que, mundialmente, em 2016, cerca de 829 mil pessoas que fizeram o consumo inadequado de água e que não tinham um saneamento e higiene adequado morreram de diarreia como consequência dessas causas, representando 60% de todas as mortes relacionadas à diarreia mundialmente que poderiam ter sido evitadas com políticas e melhorias dos serviços de água potável, saneamento e higiene (Prüss-Ustün et al., 2019).

O Brasil está incluído entre os países de maior reserva de água doce do planeta (Brito; Silva; Porto, 2007) onde detém cerca de 12%, mas sua distribuição é heterogênea, pois 70% dessa água encontra-se na Bacia Amazônica; 5% encontram-se no Nordeste; e 12,5% estão nas regiões Sul e Sudeste (Da Silva Augusto et al., 2012).

A região semiárida do Nordeste brasileiro apresenta períodos de estiagem durante o ano contando com uma série de condições hídricas desfavoráveis como evapotranspiração alta, baixa precipitação, por exemplo. Logo, a falta de água compromete as condições de vida dos nordestinos em áreas extensas do semiárido (Tucci et al., 2000). Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no ano de 2021, 2022 e de janeiro a agosto de 2023, as

precipitações no município de Ouro Branco/RN foram de 311,9 mm, 951,4 mm e 570 mm, respectivamente.

No período de estiagem, onde a temperatura e evapotranspiração são elevadas, as concentrações de sais dos açudes e dos poços aumentam, causando variações na qualidade da água (Silva Júnior; Gheyi; Medeiros, 1999).

Embora a água ocupe dois terços da superfície da Terra, ela é um recurso natural esgotável (Brito; Silva; Porto, 2007; De Resende, 2002). Com isso, a água subterrânea ganha importância, sendo o recurso natural mais extraído do subsolo brasileiro e uma fonte alternativa ou complementar ao acesso à água (Hirata et al., 2019).

A qualidade da água subterrânea é tão importante quanto a quantidade, sendo aquela definida por sua composição e seus possíveis efeitos causados por seus constituintes. As concentrações de substâncias dissolvidas variam de acordo com os tipos de aquíferos que a água percola, bem como o clima, composição da água de recarga, além da contaminação causada pelo homem, interferindo na qualidade da água, tornando-a tóxica e imprópria para consumo humano (Feitosa et al., 2008).

A interação da água subterrânea com o solo e as formações geológicas faz com que ela tenha uma variedade de substância dissolvidas, tornando-a mais mineralizada que a água da superfície (Midões; Fernandes; Costa, 2001).

A água subterrânea tem um vasto potencial, uma vez que a escassez de água cresce em muitos lugares do mundo, ela se torna uma alternativa que não pode ser negligenciada (UNESCO, 2022). Para tal, é necessário que a água atenda aos requisitos de qualidade estabelecidas por entidades de controle e vigilância para poder fazer o uso dela. (Fortes; Barrocas; Kligerman, 2020).

O município de Ouro Branco/RN - local de estudo - está localizado no estado do Rio Grande do Norte. Em período de estiagem a água subterrânea assume importância nesse município como fonte de abastecimento para diversos usos, como consumo humano, agricultura, uso doméstico. Muitas pessoas fazem o uso e consumo dessas águas sem ter conhecimento dos parâmetros físico-químicos dela.

Contudo, é essencial que os parâmetros físico-químicos da água estejam de acordo com os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, pois a água tem que

estar em boa qualidade para consumo das pessoas e das atividades agrícolas, caso contrário, a água contaminada pode causar efeitos ao meio ambiente e ocasionar doenças à saúde das pessoas (Brito; De Amorim; Leite, 2007).

Este trabalho busca realizar a caracterização dos parâmetros físico-químicos de amostras de água subterrânea de poços localizados na região de Ouro Branco/RN. As análises a serem realizadas serão medições de pH, condutividade, alcalinidade, dureza, turbidez e teor de cloro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade de amostras de águas subterrâneas da região de Ouro Branco/RN, com base em indicadores físico-químicos, conforme apresentados pelas Portarias n.º 5/2017 e n.º 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, buscando contribuir, informando aos seus proprietários e a comunidade a respeito da qualidade da água consumida e distribuída para o abastecimento de casas.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os parâmetros físico-químicos: pH, Condutividade Elétrica, Alcalinidade, Dureza, Turbidez e Cloretos, das amostras de águas subterrâneas;
- Identificar e analisar os resultados obtidos comparando-os com os padrões para potabilidade de água estabelecidos pelo Ministério da Saúde, através das portarias n.º 5, de 28 de setembro de 2017 e n.º 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2017; BRASIL, 2021).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Água

A água é uma substância inorgânica essencial para a vida, saúde, alimentos, desenvolvimento econômico e o meio ambiente sustentável (DE ALMEIDA, 2010). A Terra possui aproximadamente 1.386 milhões de Km³ de água em sua superfície (Pires; Farjalla, 2020) e é mal distribuída, sendo que 97% são salgadas e encontram-se nos mares e oceanos; dos 3% restantes, 2,2% encontram-se na forma de gelo; 0,6% está embaixo da camada superficial do solo; 0,1% encontra-se na atmosfera; e apenas 0,1% está nos rios e lagos do planeta (EMBRAPA, 2023).

A água para consumo são as águas dos rios, lagos, água subterrânea e água da chuva, que somadas representam apenas 1% do volume de água doce (Victorino, 2007).

A qualidade da água está relacionada com o bem-estar populacional, saúde. Quando contaminada, ela veicula diversos agentes biológicos infecciosos ou parasitários que causam doenças como enterites, diarreias infantis, responsáveis pela alta mortalidade infantil (Lira, 2014).

As concentrações de cátions e ânions são importantes para o bom funcionamento dos órgãos e bem-estar das pessoas. O excesso de potássio pode causar câimbra, fadiga, paralisia muscular e diarreia, enquanto a carência desse elemento pode provocar fadiga, baixa de açúcar no sangue e insônia. O excesso de cálcio pode provocar dores musculares, fraqueza, sede, desidratação, enjoo e pedras nos rins, uma carência desse elemento provoca raquitismo e osteoporose (Feitosa, Filho; 2000).

A água constitui mais de 60% do organismo humano, sendo essencial em todos os tecidos corpóreos, em processos fisiológicos de digestão, absorção e excreção, atua como um meio de transporte para nutrientes e todas as substâncias corpóreas. É considerada um solvente universal, servindo como solvente para minerais, vitaminas, aminoácidos, glicose e diversas outras moléculas pequenas (Serafim; Vieira; Lindermann, 2004).

Portanto, a água é essencial para a manutenção da vida humana. A sua utilização é muito diversa, desde preparação de alimentos, higiene pessoal até limpeza doméstica (Pasini; Damke, 2020).

3.1.1 A água no Brasil

O Brasil é detentor da maior reserva de águas superficiais do planeta Terra, concentrando 12% da disponibilidade hídrica. A economia brasileira depende de seus recursos hídricos pois esses são responsáveis por 65% da energia do país que é gerada através de usinas hidrelétricas. Esses recursos também têm grandes impactos na agricultura visto que essa contribui com 25% do PIB nacional (Pires; Farjalla, 2020).

No Brasil, são retirados aproximadamente 93 trilhões de litros de água anualmente de fontes superficiais e subterrâneas para atender às demandas de diferentes setores. Desse total, 27,9 trilhões de litros ao ano sofrem processo físico de evaporação líquida, 65 trilhões de litros são para usos setoriais, sendo 49,8% usados na irrigação, 24,3% para uso humano urbano e 9,7% utilizados pela indústria (ANA).

No Brasil, a maior parte da água utilizada é para irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, recreação e lazer. (ANA, 2020).

3.1.2 Uso de água na agricultura

A água desempenha papel fundamental no abastecimento alimentar global, sendo um insumo importante no fornecimento de alimentos (FAO, 2017).

Há uma preocupação com a insegurança alimentar ao redor do mundo, pois mais água será necessária para atender às demandas por alimentos e energia, com isso, muitos países já limitam a disponibilidade de água para a agricultura, que é uma área que explora bastante esse recurso. Nos países do grupo BRICS - grupo formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul - a agricultura é responsável por 74% da exploração de água, e da exploração mundial de água doce, a atividade agrícola é responsável por 70% (UNESCO – WWAP, 2012).

O uso de águas subterrâneas aumentou na agricultura substancialmente desde meados do século XX e, em muitas áreas, a taxa de retiradas anuais excede a taxa de recarga natural. Em locais onde a retirada de água não é sustentável, a escassez se intensificará, restringindo a produção agrícola (FAO, 2017).

No Nordeste, 82,6% da mão de obra do campo dedica-se à agricultura familiar movimentando a economia local, onde os agricultores fazem utilização da água subterrânea que aumentou intensamente no Brasil, principalmente nas regiões semiáridas, devido seu uso na irrigação. Porém, a agricultura contribui para a degradação dos mananciais direta ou indiretamente, afetando a qualidade da água (Castro, 2012; De Resende, 2022; Lima et al., 2020).

3.1.3 Águas para o consumo humano

A demanda por água para consumo humano é grande e vem crescendo no Brasil devido vários fatores como, aumento da população, incremento da industrialização, aumento do volume de perdas de água em sistemas de abastecimento (De Pádua, Valter Lúcio, 2006).

Quando comparada com a irrigação, o consumo humano não apresenta uma alta demanda, seu consumo encontra-se limitado pela degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, ou seja, contaminação de água próximas às cidades por meio de esgotos de tratamento cloacal, industrial e de escoamento pluvial urbano, lançadas nos rios; concentração de demanda em grandes áreas urbanas, como as regiões metropolitanas (Tucci; Hespanhol; Cordeiro Netto, 2001).

3.1.4 Águas subterrâneas

A água subterrânea é toda água que é encontrada abaixo do solo. Elas são contidas nos aquíferos, que são formações geológicas, ou parte delas, constituídas por materiais como areias e cascalhos não consolidados, rochas sedimentares permeáveis, como arenitos ou calcários, e outros, que são permeáveis, capazes de armazenar grandes quantidades de água (IGRAC).

De toda a água doce líquida presente na Terra, 99% provêm de água subterrânea, onde metade do seu volume captado é utilizada em atividades domésticas pela população mundial, 25% de toda a água captada é utilizada para irrigação, abastecendo 38% das terras irrigadas no mundo (UNESCO, 2022).

As fontes de contaminação das águas subterrâneas são diversas, entre elas estão o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a

disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, a gasolina causada por vazamentos em postos de combustíveis, que é pouco solúvel e se dissolverá parcialmente e seus constituintes, tais como benzeno, tolueno, etilbenzeno, e muitos outros, irão atingir o lençol freático por terem maior solubilidade, contaminando as águas subterrâneas, tornando-as impróprias para consumo humano (Corseuil; Marins, 1997; Silva; Araújo, 2003).

As águas subterrâneas, apresentam baixos níveis de conteúdo orgânico total (TOC) por estar menos expostas à influência direta de ecossistemas de superfícies, e em consequência, apresentam menos patógenos e microrganismos. Em contrapartida, as águas subterrâneas geralmente tendem a ter maiores concentrações de minerais e metais inorgânicos naturais, como arsênio, nitrato, sulfato, ferro do que as águas superficiais (Water Online).

3.2 Aspectos físico-químicos da Água

Os aspectos físico-químicos da água são importantes na determinação e quantificação dos elementos presentes nela, fornecendo informações da composição e concentração de espécies iônicas necessárias para que a água seja própria para consumo humano, as quais são comparadas com padrões estabelecidos em portarias e legislações legais. Para ter conhecimento e determinar os elementos presentes nas águas e suas concentrações, é necessário realizar uma série de técnicas analíticas que irão determinar esses componentes presentes em uma determinada amostra (Parron; Muniz; Pereira, 2011).

3.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é um índice que atua como parâmetro para determinar a acidez ou alcalinidade de uma solução, e é definido como o logaritmo da concentração do íon hidrogênio (H_3O^+) em ($mol.L^{-1}$), com sinal negativo:

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

Dependendo da concentração hidrogeniônica, a solução pode apresentar característica ácida, básica ou neutra e ser distinguida pelo valor de pH. A uma temperatura de 25 °C, uma solução que apresenta pH menor que 7,00 (pH ácido);

solução com pH maior que 7,00 (pH básico ou alcalina); e pH igual a 7,00 tem-se uma solução neutra (Chang; Goldsby, 2013).

Esse parâmetro é um dos mais importantes quando se refere a potabilidade da água. As Portarias n° 5/2017 e n.º 888/2021 do Ministério da Saúde definem os valores padrão de potabilidade para consumo humano da água, onde o valor de pH deve ser mantido entre 6,0 e 9,5 (BRASIL, 2011).

3.2.2 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica é a capacidade que um determinado material possui em conduzir corrente elétrica (Molin; Rabello, 2011). Nas águas, essa condutividade é proporcional à concentração iônica de substâncias que, quando dissolvidas, se dissociam em ânions e cátions como íons ferro e manganês, além de K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} . As soluções que apresentam altas concentrações de compostos iônicos apresentam condutividade elevada, enquanto a presença de compostos orgânicos reduz a transmissão da corrente elétrica, pois quando em solução aquosa esses compostos não se dissociam (Libânio, 2008). A condutividade elétrica é proporcional com a temperatura, visto que a condutividade aumenta com a elevação da temperatura, (Feitosa; Filho 2000).

Em estados da Região Nordeste, onde apresentam baixa intensidade pluviométrica e altas taxas de evaporação devido a altas temperaturas, este parâmetro se mostra relevante, embora não constitua um parâmetro integrante do padrão de potabilidade. (Libânio, 2008). No Brasil, o Ministério da Saúde não define um valor padrão de CE para potabilidade da água, mas, na União Europeia, o valor de referência da condutividade para potabilidade da água contido no nível guia é de $400 \mu S \cdot cm^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ C$ (Carney, 1991).

3.2.3 Alcalinidade

A alcalinidade da água é a capacidade de neutralizar ácidos. Essa capacidade não depende necessariamente de se o pH do meio é superior a 7. As águas subterrâneas, por exemplo, podem apresentar pH abaixo de 7 e conter sais que neutralizam ácidos (Marion et al., 2007). É devido a presença dos íons carbonato

(CO_3^{2-}), hidroxila (OH^-) e bicarbonato (HCO_3^-) que a água se torna alcalina (Magalhães et al., 2014).

A presença desses íons depende do pH do meio. Valores de pH entre 4,4 e 8,3 são encontrados apenas bicarbonatos, pH entre 8,3 e 9,4 carbonatos e bicarbonatos e valores de pH acima de 9,4 estão presentes hidróxidos e carbonatos (alcalinidade cáustica), não sendo possível a coexistência dos três compostos em uma mesma amostra (Sena, 2011).

A alcalinidade da água é principalmente atribuída à presença de bicarbonatos produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido na água sobre as rochas calcárias (Lima et al., 2020). Na legislação brasileira não há um limite que defina a alcalinidade em água. A Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 não faz referência alguma sobre esse parâmetro. A maioria das águas naturais apresentam alcalinidade que varia de 30 a 500 mg. L^{-1} de CaCO_3 (Coelho et al., 2017).

Alcalinidade total acima de 120 mg. L^{-1} pode causar formação de incrustações brancas, cinzentas ou marrons em tubos e em outras partes do sistema de circulação da água como também pode causar turbidez (Gonçalves, 2009). A alcalinidade da água assume importância na coagulação química, pois os coagulantes comumente têm atuação como ácidos em solução, reduzindo a alcalinidade que por sua vez baixa o valor do pH, sendo necessária frequentemente a adição de alcalinizante para o equilíbrio do mesmo (Pavanelli, 2001).

3.2.4 Dureza Total

A dureza da água diz respeito à concentração total dos íons alcalino-terrosos na água, que são aqueles do Grupo 2 da tabela periódica como o berílio, magnésio, cálcio entre outros. Desse grupo, os íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) são os principais, pois possuem maiores concentrações na água, sendo a dureza expressa em miligramas por litro (mg. L^{-1}) de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Harris, 2012).

A água dura é bastante prejudicial se utilizada em aparelhos que fazem o aquecimento dela, como em caldeiras, pois vai produzir cristais de carbonato de cálcio que incrustam em sistemas de tubulações a partir de reações causadas pela elevada

temperatura, podendo causar explosões por impedir a passagem de vapor (Martins, 2001).

A dureza pode ser classificada como dureza temporária (carbonato) ou dureza permanente (não carbonato). A dureza temporária diz respeito aos teores de carbonatos de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3) presentes na água que, por aquecimento, os carbonatos insolúveis se decompõem em dióxido de carbono (CO_2) que podem ser eliminados por meio da fervura. Já a dureza permanente é devido a presença de sulfatos (SO_4^{2-}), cloretos (Cl^-) e nitratos (NO_3^-) presentes na água que, por sua vez, não são removidos por fervura (Candido, 2022).

A dureza está relacionada com doenças cardiovasculares. Pesquisas evidenciam que doenças cardiovasculares têm aumentado em países subdesenvolvidos, onde o consumo de água com alta dureza é elevado (XU, Tian et al., 2013). Estudos demonstram um efeito protetor do magnésio presente na água contra mortes por acidente vascular cerebral e doença hipertensiva e um efeito protetor tanto do cálcio quanto do magnésio contra infarto agudo do miocárdio (IAM) (CATLING, Louise A. et al., 2008).

Dependendo da concentração dos cátions Mg^{2+} e Ca^{2+} a água é considerada mole se apresentar concentrações abaixo de 75 mg. L^{-1} , moderada (entre 75 e 150 mg. L^{-1}) e dura se apresentar teores acima de 150 mg. L^{-1} (Mól; Barbosa; Silva, 1995). De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde n.º 888/2021, o valor máximo permitido (VMP) para a dureza total da água para consumo humano é de 300 mg. L^{-1} de CaCO_3 (BRASIL, 2021).

3.2.5 Turbidez

A turbidez é a dificuldade que um feixe de luz tem de atravessar certa quantidade de amostra como, por exemplo, a água, devido a suspensão de matérias sólidas como silte, argila, coloides, matéria orgânica etc. Portanto, quando maior for espalhamento desse feixe de luz incidida sobre a amostra, maior será a turbidez. Como os componentes da água têm propriedade de absorver luz, a cor da água interfere negativamente na medida da turbidez. Os valores de turbidez são expressos

em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU, do inglês *Nephelometric Turbidity Units*) (Correia et al., 2008).

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez (Araujo; Hipólito; Watchman, 2013), geralmente porque a maioria dessas águas não contém materiais em suspensão, com exceção daquelas que circulam em poços mal desenvolvidos com produção de argila, silte e areias (Feitosa; Filho, 2000). Sua determinação é importante, pois as partículas em suspensão transportam matéria orgânica absorvida que podem provocar sabor e odor (Lira, 2014).

A Portaria do Ministério da Saúde n.º 888/2021, define o valor máximo permitido (VMP) de turbidez que é de 5 NTU (BRASIL, 2021).

3.2.6 Cloretos

Os cloretos são íons inorgânicos encontrados nas águas, estando presentes em formas de sais de sódio (NaCl), potássio (KCl) e cálcio (CaCl₂). A presença desses íons em água pode ser atribuída a dissolução dos depósitos de sal, descargas de efluentes das indústrias químicas, exploração de poços petrolíferos bem como infiltração das águas marinhas em águas costeiras. Em comparação com os efluentes sanitários, as águas subterrâneas apresentam menor concentração de cloretos, geralmente teores inferiores a 100 mg.L⁻¹. (Viana, 2020; Lira, 2014; Feitosa; Filho, 2000).

A alta concentração de íons cloreto na água pode ocasionar diversos fatores que impossibilitam seu uso como, por exemplo, sabor e efeito laxativo em pessoas que estejam acostumados a baixas concentrações (Lira, 2014).

A Portaria do Ministério da Saúde n.º 888/2021, define o valor máximo permitido de 250 mg.L⁻¹ de cloretos em água para potabilidade (BRASIL, 2021).

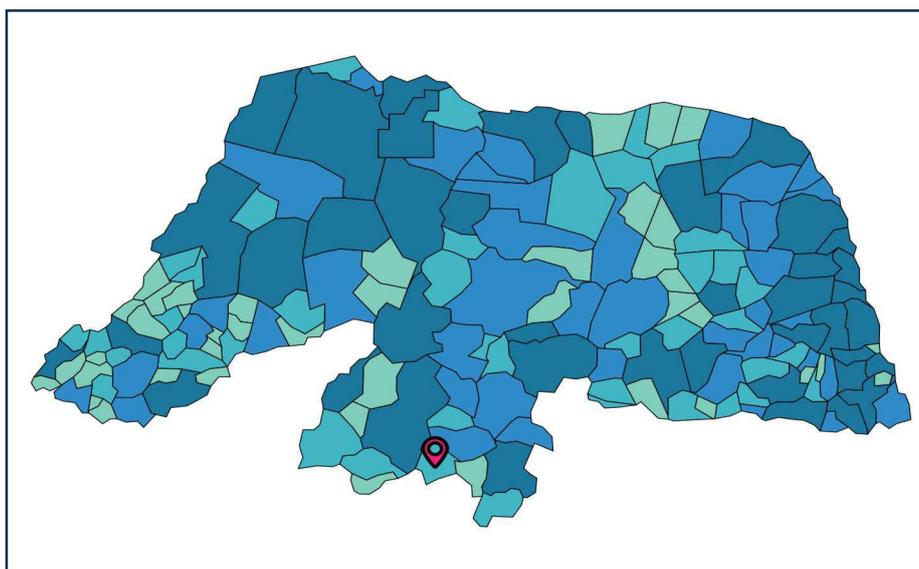
4 METODOLOGIA

4.1 Local de estudo

Os locais de estudos situam-se na região do município de Ouro Branco/RN, sendo três poços localizados na zona urbana e dois na zona rural. Ouro Branco está totalmente inserido no Domínio Hidrogeológico Fissural. O Domínio Fissural é composto de rochas do embasamento cristalino que englobam o subdomínio rochas metamórficas constituído da Formação Seridó e da Formação Jucurutu e o subdomínio rochas ígneas da Suíte Várzea Alegre (CPRM, 2005).

O município foi criado pela Lei n° 907, de 21 de novembro de 1953 e está localizado no estado do Rio Grande do Norte, na Mesorregião Central Potiguar e Microrregião Seridó Oriental, a uma altitude de 223 metros acima do nível do mar, com coordenadas geográficas: 6° 42' 04" de Latitude Sul e 36° 56' 44" de Longitude Oeste. Segundo o último censo, realizado em 2022, o município conta com uma população de 4.913 pessoas, estando localizada a uma distância de 250 quilômetros da capital Potiguar, Natal/RN e 288,7 quilômetros da capital paraibana, João Pessoa/PB. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ouro Branco/RN conta com uma área territorial de 253,210 Km² (IBGE, 2023). Em período de estiagem muitas casas do município são abastecidas com águas subterrâneas de poços, sendo esses uma das principais fontes de abastecimento.

Figura 1 – Localização de Ouro Branco/RN



Fonte: IBGE (2023).

4.2 Amostragem

As coletas das cinco diferentes amostras foram realizadas por meio de bomba, já que se trata-se de amostras de águas subterrâneas, onde, inicialmente passou por um processo de espera de três minutos para então fazer a ambientação do local de armazenamento e serem coletadas. As amostras foram armazenadas em garrafas de politereftalato de etileno (PET) com capacidade de 2,0 L, previamente higienizadas, identificadas de acordo com cada localidade, e mantidas em refrigeração durante todo período de análise (Parron; Muniz; Pereira, 2011; APHA – AWWA – WEF, 2017).

O poço onde a amostra 1 foi coletada tem 7 m de profundidade, e encontra-se dentro de um rio, que se encontra seco por causa da seca. O poço da amostra 2 tem 10 m de profundidade e está localizado na zona rural. Ambos os poços onde foram coletadas as amostras e 1 e 2 são considerados poços amazonas, que são escavados manualmente. Os poços da amostra 3 tem 60 m, amostra 4 tem 32 m e o da amostra 5 tem 42 m de profundidade, todos os três são poços tubulares.

As amostras foram coletadas entre os dias 11 e 12 de março de 2023. Os dados meteorológicos para o período de 01 a 12 de março foram de 0,8 mm de precipitação, mais precisamente, essa precipitação de 0,8 mm ocorreu dia 12 de março (EMPARN, 2023).

Tabela 1 – Locais das amostras e profundidades dos poços

Amostras	Locais	Profundidade dos poços (m)
Amostra 1	Adeval	7
Amostra 2	Sítio Carnaubinha	10
Amostra 3	Rômulo	60
Amostra 4	Mimiu	32
Amostra 5	Naldinho	42

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Os locais onde foram coletadas as cinco amostras de águas subterrâneas são denominados como: Adeval, Sítio Carnaubinha, Rômulo, Mimiú e Naldinho.

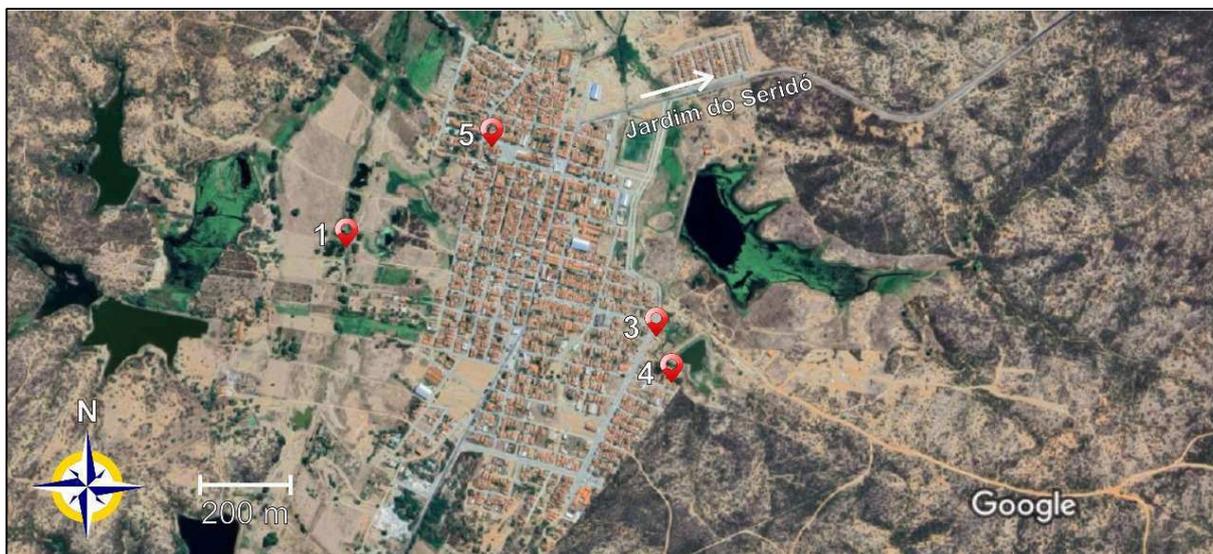
A tabela 2 apresenta as localizações das amostras coletadas, e suas respectivas coordenadas geográficas. As figuras 2A e 2B apresentam a localização dos pontos onde foram coletadas as amostras.

Tabela 2 – Amostras e seus respectivos locais e coordenadas geográficas de coleta, 2023

Amostras	Locais	Coordenadas geográficas
Amostra 1	Adeval	6°42'11"S36°56'59"W
Amostra 2	Sítio Carnaubinha	6°41'46.7"S36°53'25.9"W
Amostra 3	Rômulo	6°42'19"S36°56'33"W
Amostra 4	Mimiú	6°42'24"S36°56'32"W
Amostra 5	Naldinho	6°42'03.5"S36°56'47.8"W

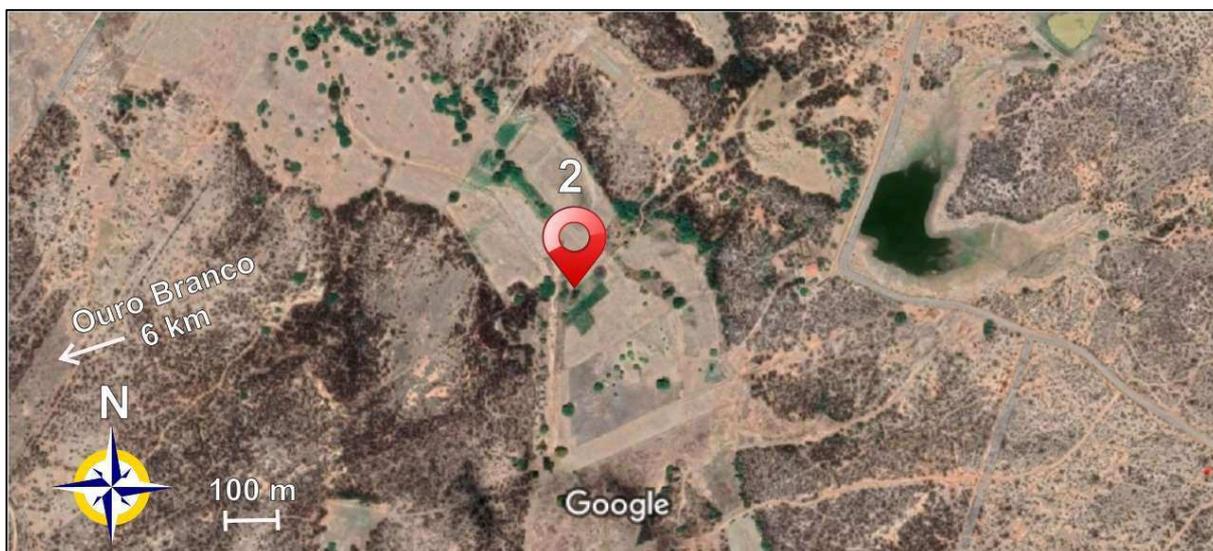
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Figura 2A – Pontos de coleta das amostras: 1 Adeval; 3 Rômulo; 4 Mimiú; 5 Naldinho



Fonte: Adaptado de Google Maps.

Figura 2B – Ponto de coleta da amostra: 2 Sítio Carnaubinha



Fonte: Adaptado de Google Maps.

4.3 Caracterização dos parâmetros Físico-Químicos

As análises das amostras da pesquisa foram realizadas nos laboratórios de Química Geral e Inorgânica e Química Analítica do Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Cuité – PB. Para a realização das análises químicas foram seguidas as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA – AWWA – WEF, 2017), do manual prático de análise de água (FUNASA, 2013), do manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalha em ETAS (Lira, 2014) e do Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água, da Embrapa (Parron; Muniz; Pereira, 2011).

4.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para as medições de pH das amostras utilizou-se um pHmetro da marca SIMPLA, modelo pH 140, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,00 e 7,00 a uma temperatura de 25 °C (APHA – AWWA – WEF, 2017).

Figura 3 – pHmetro utilizado para medições de pH das amostras



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.3.2 Condutividade Elétrica

Na metodologia empregada para medições da Condutividade Elétrica (CE), utilizou-se um condutivímetro microprocessado da marca ALFAKIT modelo AT-255 v1.0, que foi calibrado antes das medições realizadas empregando uma solução padrão com condutividade de $147 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ a uma temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, tais medições foram realizadas em quintuplicadas. (APHA – AWWA – WEF, 2017).

Figura 4 - Condutivímetro utilizado para medições da CE das amostras

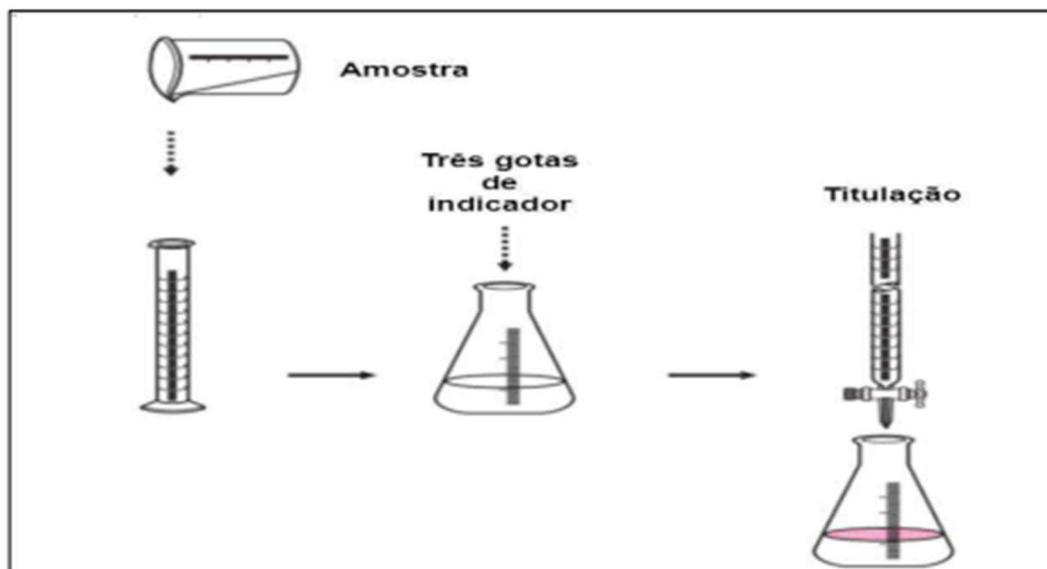


Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.3.3 Alcalinidade

A determinação da alcalinidade foi feita em triplicadas, usando o método de titulação ácido-base, empregando como titulante o hidróxido de sódio (NaOH), 0,001 M previamente padronizado e a fenolftaleína como indicador devido o pH das amostras se apresentarem alcalinas, estando os carbonatos presentes como bicarbonatos (HCO_3^-) nas amostras. Os valores das medições da alcalinidade são expressos em mg.L^{-1} de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Sena, 2011; Lira, 2014; FUNASA, 2013).

Figura 5 - Fluxograma da determinação da Alcalinidade

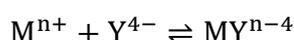


Fonte: Adaptado de FUNASA (2013).

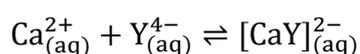
4.3.4 Dureza Total

As determinações da dureza da água foram realizadas em triplicadas por Método Titulométrico, onde as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram expressas em mg.L^{-1} de CaCO_3 e MgCO_3 , respectivamente, usando como titulante para as determinações de dureza total e Ca^{2+} o ácido etilenodiaminotetraacetato (EDTA), 0,013 M e como titulado a amostra, indicador de Negro de Eriocromo T (NET), solução tampão a $\text{pH} = 10 \pm 0,1$ até o desaparecimento da cor púrpura avermelhada e o aparecimento da cor azul (final da titulação) para determinação da concentração de dureza total; e amostra, indicador murexida + NaCl e solução de NaOH a $\text{pH} = 12$ para determinação da concentração de Ca^{2+} . Da diferença das concentrações medidas com o indicador NET e com murexida resultou na determinação de concentração de Mg^{2+} . (Lira, 2014; FUNASA, 2013; APHA – AWWA – WEF, 2017; HARRIS, 2012).

A reação de titulação por formação de complexos com EDTA é:

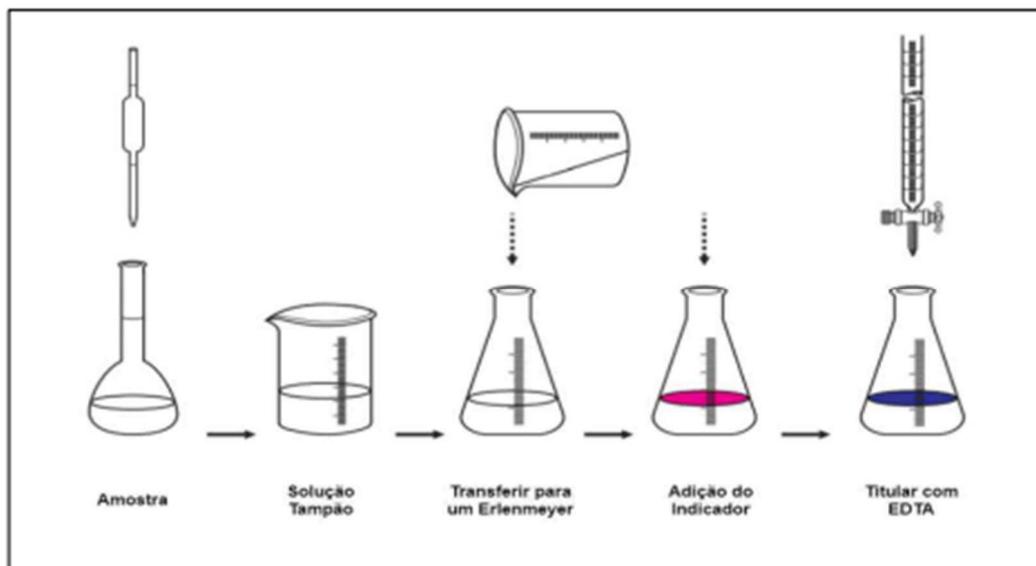


Ou seja,



Onde Y^{4-} é o EDTA desprotonado ($Y^{4-} = (C_{10}H_{12}N_2O_8)^{4-}$).

Figura 6 – Fluxograma da determinação de Dureza



Fonte: Adaptado de FUNASA (2013).

4.3.5 Turbidez

Para as medições de turbidez das amostras utilizou-se um turbidímetro da marca DEL LAB, modelo DLT-WV, série n.º 12161498, sendo calibrado antes das medições com soluções padrão de valores $0,00 \leq NTU \leq 1000$ (APHA – AWWA – WEF, 2017).

Figura 7 – Turbidímetro utilizado para medições de Turbidez

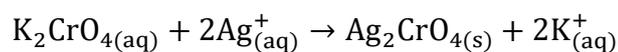
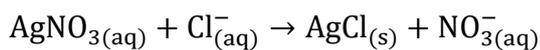


Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.3.7 Teor de Cloro

As medições de cloro presente nas amostras foram realizadas em triplicadas utilizando como referência o Método de Mohr; o titulante utilizado para titulação de precipitação foi uma solução padrão de nitrato de prata (AgNO_3), com concentração próxima de 0,01 M e $7,0 \leq \text{pH} \leq 10,0$. Foi adicionado ao analito gotas de cromato de potássio (K_2CrO_4) para proporcionar a visualização de um precipitado de cor de telha (Ag_2CrO_4) formado pela adição de um excesso de AgNO_3 (Lira, 2014; APHA – AWWA – WEF, 2017; SKOOG et al., 2006).

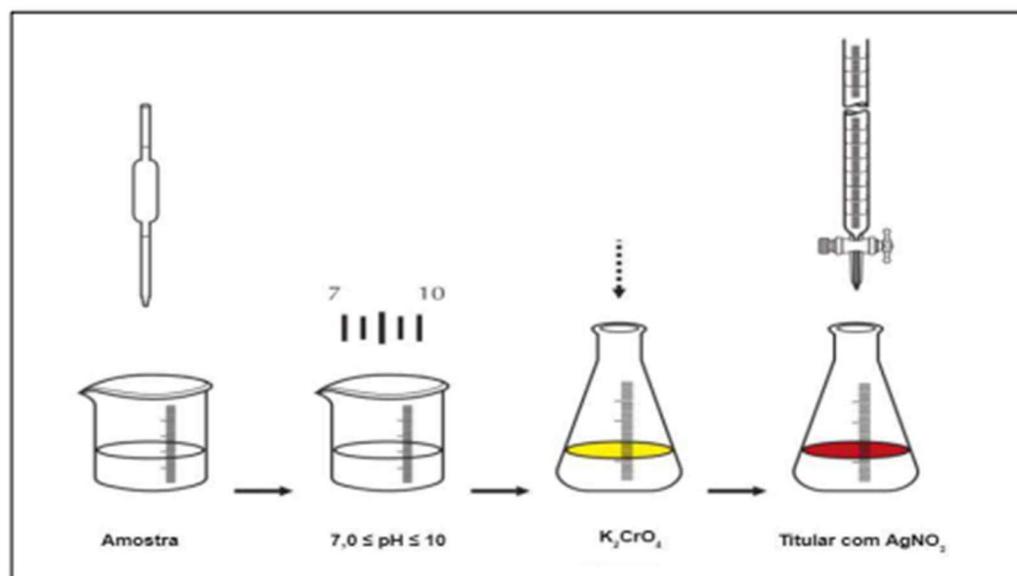
Reação:



(amarelo)

(cor telha)

Figura 8 – Fluxograma da determinação de Cloretos



Fonte: Adaptado de FUNASA (2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos parâmetros: pH, Condutividade e Turbidez

O parâmetro pH (potencial hidrogeniônico) é uma grandeza que varia de 0 a 14, quando uma substância apresenta pH abaixo de 7,0 indica intensidade de acidez, quando apresenta pH igual a 7,0 indica neutralidade, alcalinidade ou basicidade quando possui pH maior que 7,0 (Feitosa; Filho, 2000).

A condutividade elétrica está relacionada com a capacidade que uma solução possui em conduzir corrente elétrica, soluções como ácidos, bases e sais inorgânicos são responsáveis pelo aumento desse parâmetro, de modo que quanto maior a quantidade íons, maior a CE; a CE também está relacionada com a temperatura, onde temperatura e CE são diretamente proporcional (Parron, Muniz, Pereira, 2011).

A turbidez é uma propriedade óptica que faz com que a luz quando em contato com uma solução seja espalhada e absorvida. Isso ocorre devido às amostras apresentarem materiais em suspensão, tais como argila, silte, matéria orgânica, entre outros. A turbidez está relacionada com a cor da solução, de modo que, geralmente, quanto mais clara a solução menor será o valor de turbidez (Parron, Muniz, Pereira, 2011).

5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A tabela 3 apresenta os valores de pH para as amostras coletadas em março de 2023.

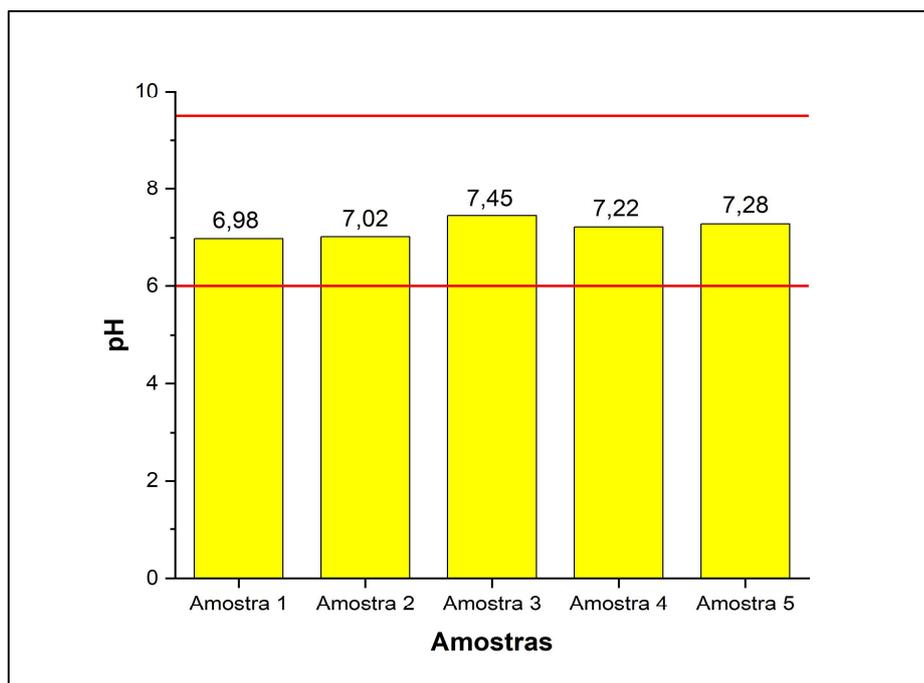
Tabela 3 – Medidas de pH

Amostras	pH
Valor máximo permitido pelo MS	$6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$
Amostra 1	$6,98 \pm 0,01$
Amostra 2	$7,02 \pm 0,01$
Amostra 3	$7,45 \pm 0,01$
Amostra 4	$7,22 \pm 0,01$
Amostra 5	$7,28 \pm 0,01$

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Os valores de pH para as amostras variam entre 6,98 e 7,45. A amostra 1 apresenta pH de 6,98, indicando uma ligeira acidez; a amostra 2 foi de 7,02; amostra 3 apresentou um pH de 7,45; amostra 4 foi de 7,22; amostra 5 apresentou pH de 7,28, indicando uma característica alcalina.

Os resultados das análises de pH das amostras de água subterrânea indicaram uma faixa que vai de suavemente ácida a alcalina. Contudo, as amostras se apresentaram dentro do padrão estabelecido pelo Ministério da Saúde que define o valor de pH entre 6,0 e 9,5 (BRASIL, 2017; BRASIL, 2021).

Gráfico 1 – Medidas de pH

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.1.2 Condutividade Elétrica

A tabela 4 apresenta os valores de CE para as amostras coletadas em março de 2023.

Tabela 4 - Medidas de CE

Amostras	Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Valor máximo permitido pelo MS	Não informado
Amostra 1	1071 \pm 13
Amostra 2	1681 \pm 35
Amostra 3	3038 \pm 28
Amostra 4	3990 \pm 28
Amostra 5	2850 \pm 21

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Os valores para CE variam entre 1071 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e 3990 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sendo a amostra 1 apresentando o menor valor de CE, o que sugere uma baixa concentração de íons quando comparada com as demais amostras, enquanto a amostra 4

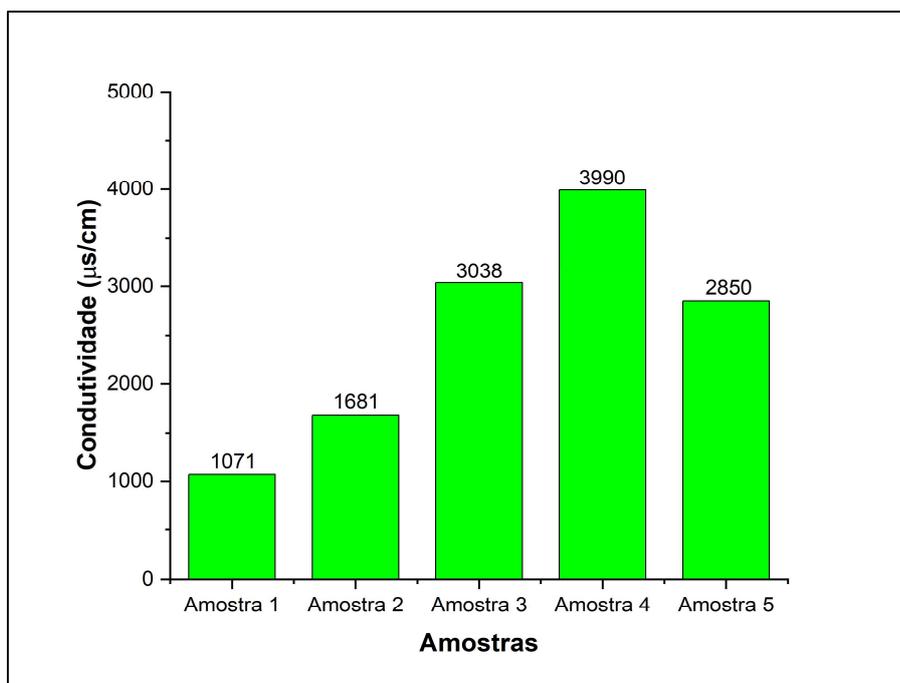
apresentou maior condutividade e como consequência, maior concentração de íons dissolvidos na água.

Barbosa et al., 2018, em estudo para avaliação da qualidade de águas subterrâneas de um poço tubular localizado no município de Santana do Seridó/RN, determinou o valor de condutividade elétrica de quatro amostras que variou entre $1360,0 \mu\text{S. cm}^{-1}$ e $1599,1 \mu\text{S. cm}^{-1}$.

Vale ressaltar que a CE no Brasil não é parâmetro integrante para potabilidade, entretanto, na União Europeia o limite para esse parâmetro é de $400 \mu\text{S. cm}^{-1}$, logo, a CE para as cinco amostras analisadas nesse estudo estaria muito elevada quando comparadas com o valor referência estabelecido pela UE (CARNEY, 1991).

Essas altas condutividades são características de mananciais subterrâneos que apresentam altos teores de sais dissolvidos sob a forma de íons, também está relacionada com temperaturas elevadas, como é o caso do município de Ouro Branco/RN que também apresenta baixa intensidade pluviométrica (Feitosa; Filho, 2000; Libânio, 2008).

Gráfico 2 – Medidas de CE



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.1.3 Turbidez

Na tabela 5 estão os resultados das análises de turbidez, expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), para as cinco amostras de água subterrânea.

Tabela 5 - Medidas de Turbidez

Amostras	Turbidez (NTU)
Valor máximo permitido pelo MS	5,0
Amostra 1	1,42 ± 0,01
Amostra 2	0,11 ± 0,01
Amostra 3	0,43 ± 0,01
Amostra 4	0,09 ± 0,01
Amostra 5	0,1 ± 0,01

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

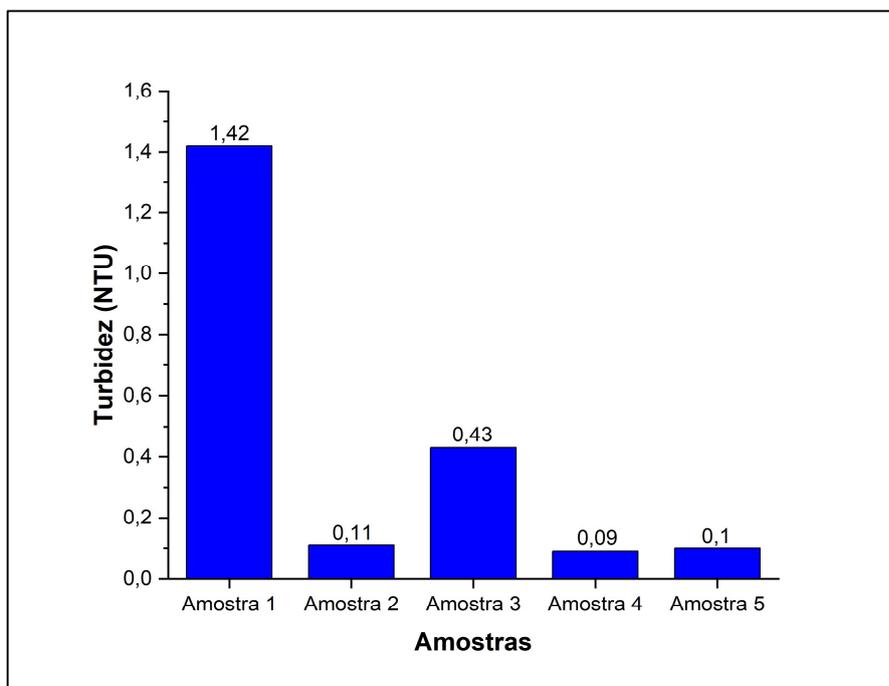
Os valores de turbidez das amostras variaram entre 0,09 NTU e 1,42 NTU, apresentando baixa turbidez, água mais clara e com menos partículas em suspensão além de impurezas visíveis. A amostra 4 apresentou o menor valor (0,09 NTU), turbidez muito baixa, sugerindo uma água de excelente qualidade visual; amostra 1 apresentou o maior valor de turbidez (1,42 NTU), relativamente mais elevada em comparação com as demais amostras, indicando, possivelmente, maior presença de partículas sólidas ou matéria em suspensão entre as amostras (Santos, 2013; Libânio, 2010).

Considerando que todas as amostras apresentaram valores de turbidez abaixo de 5 NTU, todas estão dentro do padrão de referência para potabilidade da água para esse parâmetro de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde n.º 888/2021, que define o VMP de 5 NTU (BRASIL, 2021).

O gráfico 3 apresenta uma comparação dos valores de turbidez das cinco amostras em NTU. Esses valores de turbidez são esperados, pois as amostras das águas analisadas nessa pesquisa são de origem subterrânea que, geralmente,

apresentam baixos valores de turbidez devido não estarem expostas à superfície e não possuir materiais em suspensão (Araujo; Hipólito; Watchman, 2013).

Gráfico 3 – Medidas de Turbidez



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.2 Caracterização do parâmetro: Dureza

Na tabela 6, estão os resultados das análises de dureza total, dureza Ca^{2+} e dureza Mg^{2+} , expressos em $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de CaCO_3 , CaCO_3 e MgCO_3 , respectivamente, para as cinco amostras.

Tabela 6 - Medidas de Dureza com 95% de confiança

Amostras	Dureza total (mg. L⁻¹ CaCO₃)	Dureza Ca²⁺ (mg. L⁻¹ CaCO₃)	Dureza Mg²⁺ (mg. L⁻¹ MgCO₃)
Valor máximo permitido pelo MS	300	—	—
Amostra 1	294 ± 62	114 ± 37	152 ± 50
Amostra 2	264 ± 89	109 ± 44	130 ± 52
Amostra 3	1253 ± 720	172 ± 32	910 ± 170
Amostra 4	1359 ± 192	231 ± 35	951 ± 143
Amostra 5	598 ± 120	152 ± 34	376 ± 85

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

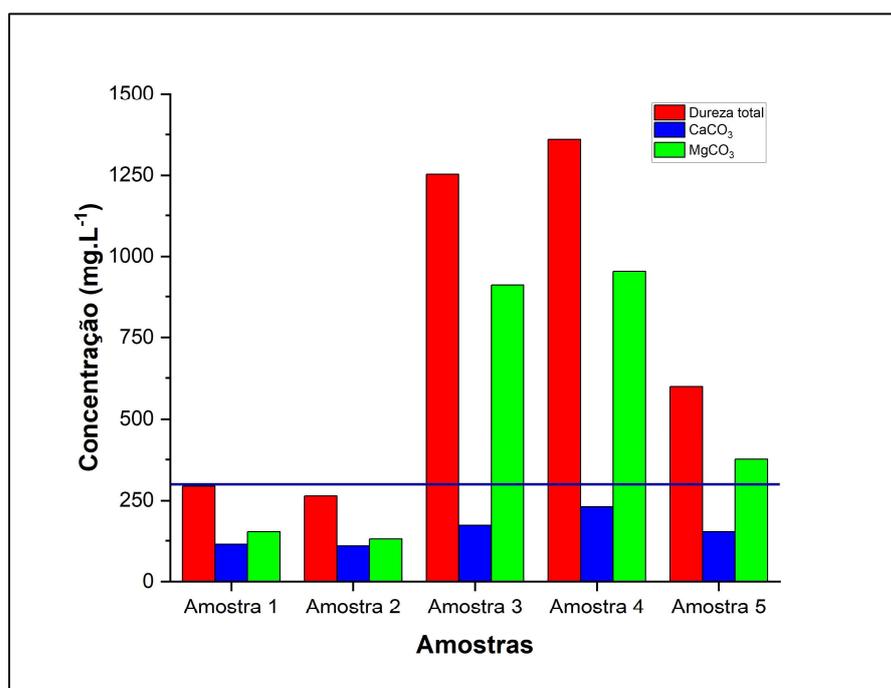
Os resultados variaram entre 264 mg. L⁻¹ e 1359 mg. L⁻¹ de CaCO₃ para dureza total, onde a amostra 2 obteve o menor valor sendo classificada como água dura, indicando uma concentração moderada de íons cálcio e magnésio; a amostra 4 apresentou dureza total significativamente elevada, sendo o maior valor observado, classificada como água muito dura por apresentar dureza total maior que 300 mg. L⁻¹ de CaCO₃ (Von Sperling, 1996).

Dentre as cinco amostras, apenas a amostra 1 e amostra 2 estão de acordo com o VMP pelo Ministério da Saúde atendendo o padrão de referência para potabilidade da água para esse parâmetro conforme as Portarias do Ministério da Saúde n.º 888/ 2021 e n.º 5/2017 que define o VMP de 300 mg. L⁻¹ de CaCO₃ (BRASIL, 2017; BRASIL, 2021).

A alta dureza total está relacionada com dissolução de rochas calcárias que são ricas em cálcio e magnésio e lançamento de efluentes industriais, tendo como consequências o elevado consumo de sabões e xampus bem como a possibilidade causar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, formando cristais de carbonato a temperaturas altas, e em altas concentrações causa sabor desagradável além de efeitos laxativos (Libânio, 2010; Von Sperling, 1996).

O gráfico 4 apresenta a comparação entre dureza total, CaCO_3 e MgCO_3 em mg.L^{-1} , onde a linha horizontal azul indica o VMP de 300 mg.L^{-1} de CaCO_3 para dureza total estabelecido pelo MS.

Gráfico 4 – Medidas de Dureza total, CaCO_3 e MgCO_3



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Um dos métodos para redução da dureza total presente nas águas é o processo iônico dos zeólitos ou resinas de troca iônica que são complexos de sódio e alumínio que tem a propriedade de trocar o sódio presente em sua composição por outros cátions como o Ca^{2+} e Mg^{2+} , diminuindo a dureza total da água (Oliveira, 2020).

5.3 Caracterização do parâmetro: Alcalinidade

Na tabela 7, estão os resultados das análises de alcalinidade expressos em mg.L^{-1} de CaCO_3 para as cinco amostras de água subterrânea.

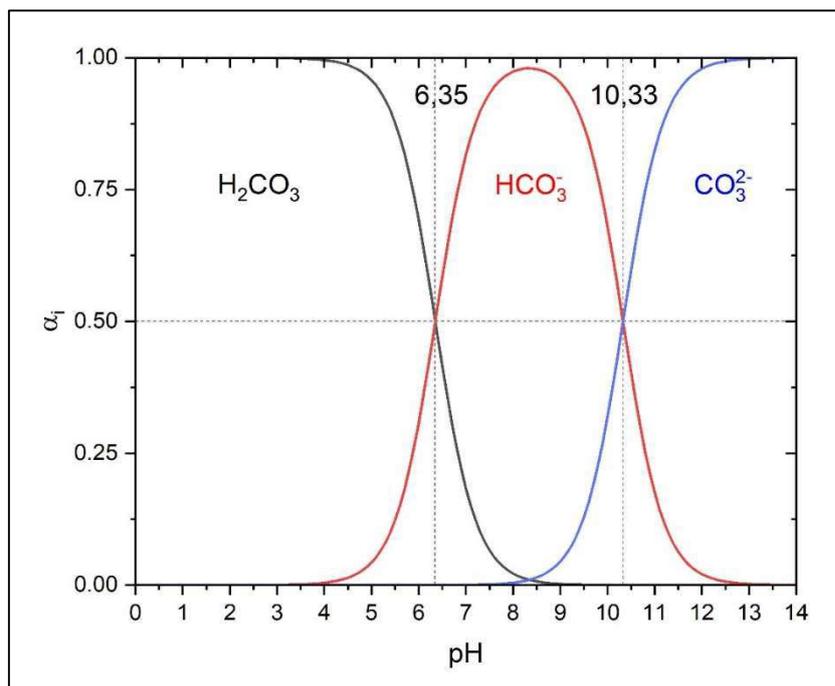
Tabela 7 - Medidas de Alcalinidade com 95% de confiança

Amostras	Alcalinidade (mg. L⁻¹ CaCO₃)
Valor máximo permitido pelo MS	Não informado
Amostra 1	158 ± 42
Amostra 2	34 ± 5
Amostra 3	141 ± 30
Amostra 4	30 ± 3
Amostra 5	23 ± 3

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Os resultados de alcalinidade obtidos nas análises variaram entre 23 mg. L⁻¹CaCO₃ e 158 mg. L⁻¹CaCO₃, sendo a amostra 5 a que apresentou menor valor de alcalinidade e amostra 1 o maior valor.

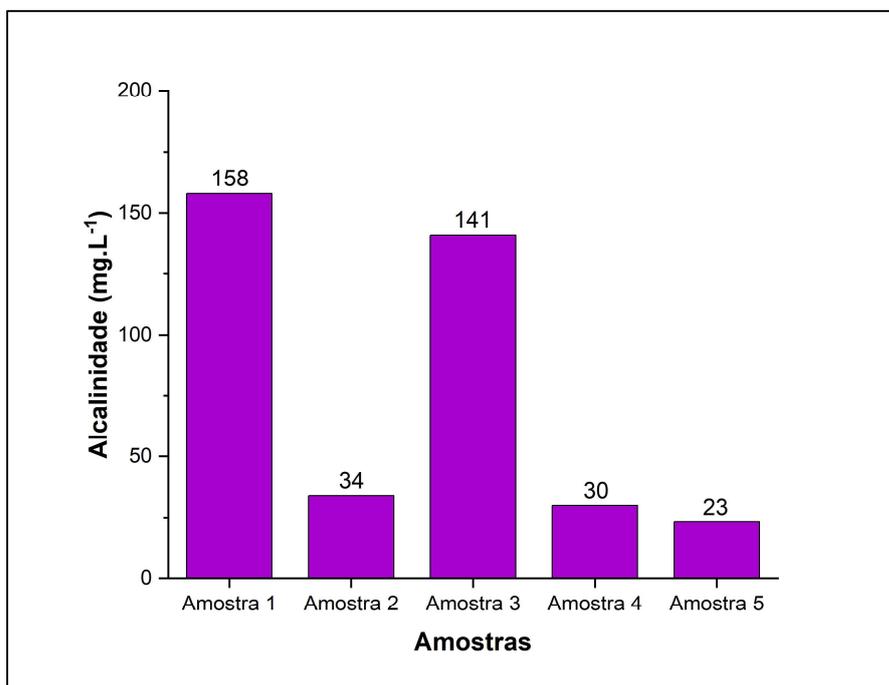
A amostra 1 e amostra 3 apresentaram os valores mais elevado de alcalinidade, indicando uma concentração significativa de íons alcalinos na água, mais precisamente, bicarbonatos conforme o gráfico 5, pois todas as amostras apresentaram pH entre 6,98 e 7,45 (Libânio, 2010).

Gráfico 5 – Distribuição de espécies de ácido carbônico em função do pH

Fonte: Adaptado de SKOOG et al., 2006.

No Brasil, a alcalinidade não é parâmetro de potabilidade para consumo humano. Entretanto, altas concentrações de alcalinidade pode atribuir gosto amargo para a água (Von Sperling, 1996).

O gráfico 6 apresenta uma comparação entre as cinco amostras em mg. L⁻¹CaCO₃.

Gráfico 6 – Medidas de Alcalinidade

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.4 Caracterização do parâmetro: Cloretos

Na tabela 8, estão os resultados das análises de cloretos expressos em mg. L⁻¹ para as cinco amostras de água subterrânea.

Tabela 8 - Medidas de Cloretos com 95% de confiança

Amostras	Teor de Cloro (mg.L ⁻¹)
Valor máximo permitido pelo MS	250
Amostra 1	152 ± 9
Amostra 2	368 ± 17
Amostra 3	745 ± 9
Amostra 4	1384 ± 37
Amostra 5	452 ± 13

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

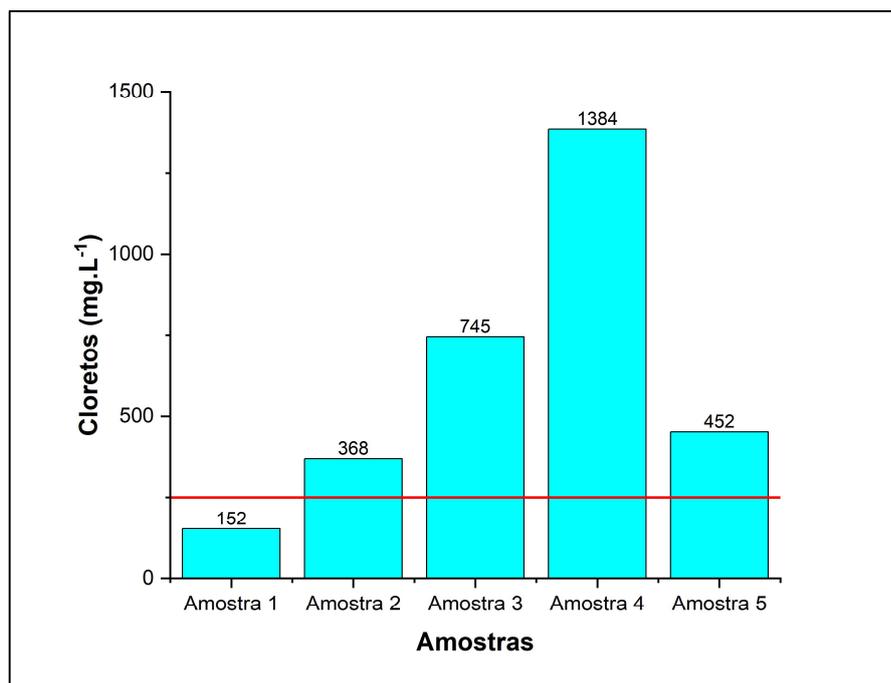
Os valores do teor de cloro variaram entre 152 e 1384 onde a amostra 1 apresentou o menor valor, apresentando uma concentração moderada de cloretos, enquanto a amostra 4 apresentou uma alta concentração de cloretos, sendo essa o maior valor dentre as cinco amostras.

Conforme a Portaria do Ministério da Saúde n.º 888/2021 que define o VMP de 250 mg.L⁻¹ de cloretos em água para potabilidade, apenas a amostra 1 está dentro do limite permitido, as demais apresentam valores acima de 250 mg.L⁻¹ e, portanto, não são indicadas seu uso para consumo humano (BRASIL, 2021).

As concentrações de íons em água são causadas por dissolução de minerais, sendo os cloretos resultados da dissolução de sais como cloreto de sódio, cloreto de potássio, por exemplo. Amostras que contêm altas concentrações de cloretos apresentam sabor salgado à água bem como provocar efeito laxativo (Von Sperling, 1996; FUNASA, 2013) além de serem tóxicos para maioria dos vegetais, inibindo seu crescimento (Feitosa; Filho, 2000).

O gráfico 7 apresenta uma comparação do teor de cloretos das cinco amostras em mg.L⁻¹, onde a linha horizontal vermelha indica o VMP pelo MS. Dependendo da composição química da água, mais precisamente dos cátions presentes nela, a água apresentará sabor salgado se o cátion predominante for o sódio (Na⁺), enquanto águas com altos valores de cloretos podem não apresentar essa característica se os cátions predominantes forem cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) como é o caso das amostra 2, amostra 3 e amostra 4 que apresentam altas concentrações de cálcio e magnésio (Pinheiro et al., 2020).

Um dos métodos de tratamento para remoção de cloretos presentes na água é a osmose reversa, que consiste em pressurizar a água através de uma membrana semipermeável onde os cloretos serão retidos pelos poros finos do filtro, permitindo somente a passagem da água pura (Oliveira, 2020).

Gráfico 7 – Medidas do Teor de Cloro

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta pesquisa, foram determinados os parâmetros físico-químicos de amostras de águas subterrâneas na região de Ouro Branco/RN. Os resultados obtidos nas análises químicas revelam uma visão abrangente da qualidade dessas águas, bem como a compreensão do cenário hídrico local desse município.

Portanto, observou-se que para os parâmetros medidos, com relação ao pH e turbidez todas as amostras determinadas apresentaram valores dentro do padrão de potabilidade. Quanto ao teor de cloretos, apenas a amostra 1 está dentro do padrão, as demais apresentaram concentrações acima do VMP de 250 mg.L⁻¹. Para dureza total, apenas a amostra 1 e amostra 2 estão em conformidade com o padrão estabelecido pelo MS, apresentando concentrações abaixo de 300 mg.L⁻¹ de CaCO₃.

Portanto, com base nesses resultados, conclui-se que apenas a amostra 1 (Adeval) está em conformidade com os parâmetros físico-químicos estabelecidos pelo MS que foi determinado nessa pesquisa, estando assim as águas aptas para consumo humano com base nesses parâmetros. Ademais, vale ressaltar a importância e necessidade de realizar análises microbiológicas e de outros íons em análises futuras

para ter maior conhecimento da composição dessas águas, passando mais segurança aos seus consumidores. As demais amostras não são próprias para consumo humano, pois alguns resultados revelaram não conformidade com os padrões estabelecidos pelo MS em suas Portarias n.º 888/ 2021 e n.º 5/2017.

Ressalta a importância desta pesquisa na caracterização dos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, turbidez e cloretos) uma vez que as águas das amostras subterrâneas dessa pesquisa são utilizadas para consumo humano bem como para atividades domésticas e, em tempos de estiagem, essas águas são também comercializadas no município de Ouro Branco/RN atendendo a demanda de famílias.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Usos da água**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua/usos-da-agua>>. Acesso em: 6 ago. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura-2020>>. Acesso em: 2 de setembro de 2023.

APHA – AWWA – WEF. American Public Health Association; American Water Work Association; Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. BAIRD, R. B; EATON, A. D.; RICE, E. W. Amer. Public Health Assn: Washington, 23 eds. 2017.

ARAUJO, C. F.; HIPÓLITO, Janayna Roriz; WATCHMAN, Andrea Viviana. **Avaliação da qualidade da água de poço**. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 72, n. 1, p. 53-58, 2013.

BARBOSA, Andrielle Barros et al. **Avaliação da qualidade de águas subterrâneas de um poço tubular no interior do RN**. Maceió, Alagoas, 2018. Disponível em: https://www.confrea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/quimica/7_adqd%C3%A1sduptnidr.pdf. Acesso em: 4, outubro de 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, 2017**. Disponível em: https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 6 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**. 2021. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>. Acesso em: 6 ago. 2023.

BRITO, LT de L.; DE AMORIM, M. C. C.; LEITE, W. de M. **Qualidade da água para consumo humano**. 2007.

BRITO, LT de L.; SILVA, A. de S.; PORTO, Everaldo R. **Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos**. 2007. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/159648/1/OPB1514.pdf>>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

CANDIDO, Claudine Schäfer et al. **Análises físico-químicas e microbiológicas de amostras de água de distribuição e água mineral envasada**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243200>>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

CATLING, Louise A. et al. **Uma revisão sistemática de estudos observacionais analíticos que investigam a associação entre doenças cardiovasculares e dureza da água potável**. Journal of water and health, v. 6, n. 4, pág. 433-442, 2008.

CASTRO, César Nunes de. **A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Texto para Discussão, 2012. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/91269>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

CARNEY, Michael. **Padrões europeus de água potável**. Journal-American Water Works Association, v. 6, pág. 48-55, 1991.

CHANG, Raymond; GOLDSBY, Kenneth A. **Química**. 11. ed. AMGH Editora, 2013. 1169 p.

COELHO, Silvio Carlos et al. **Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil**. Revista Ambiente & Água, v. 12, p. 156-167, 2017.

CORREIA, Aislan et al. **Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento**. 8º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, v. 10, 2008.

CORSEUIL, Henry Xavier; MARINS, Marcus Dal Molin. **Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 2, p. 50-54, 1997.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Ouro Branco, estado do Rio Grande do Norte / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Saulo de Tarso Monteiro Pires, Donaldson Eliezer Guedes Alcoforado da Rocha, Valdecílio Galvão Duarte de Carvalho. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DA SILVA AUGUSTO, Lia Giraldo et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano.** Revista Ciência & Saúde Coletiva, v. 17, n. 6, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600015>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

DE ALMEIDA, O. Á. **Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.** Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/irrigacao/livros/QUALIDADE%20DA%20AGUA%20DE%20IRRIGACAO.pdf>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano.** Editora UFMG, 2006. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=XFnnhzqetCoC&oi=fnd&pg=PA29&dq=%22%C3%A1gua%22+%22consumo+humano%22&ots=Hy9rwdd3el&sig=G9MQolxoaw5jNcjPCEXUFfsGaGA#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 3, setembro de 2023.

DE RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** 2002. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/546464/1/doc57.pdf>>. Acesso em: 3, setembro de 2023.

EMBRAPA. 2023. **Água: onde está a água do planeta Terra?** Disponível em: <https://www.embrapa.br/contandociencia/agua//asset_publisher/EljjNRSeHvoC/content/vamos-economizar-agua-/1355746?inheritRedirect=false>. Acesso em: 11 ago. 2023.

EMPARN. **Relatório Pluviométrico.** 2023. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>. Acesso em: 09, setembro de 2023.

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Água – a importância da gestão sustentável da água.** Disponível em: <<https://www.fao.org/land-water/water/en/>>. Acesso em: 7 ago. 2023.

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Água para Alimentos e Agricultura Sustentáveis: um relatório produzido para Presidência do G20 da Alemanha**. Roma, 2017.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia - conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM, 2000. 71 p.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14818>>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S302>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. Brasília: 4^a ed. 2013. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em 08, junho de 2023.

GONÇALVES, Elano Mário. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha–Uberlândia–MG**. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://186.202.79.107/download/qualidade-da-agua-do-rio-uberabinha.pdf>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

Google. **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

HARRIS, D. C. **Análise química quantitativa**. Tradução: Afonso, J. C. Barcia, O. E. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 934 p.

HIRATA, Ricardo et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/9788563124074>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/ouro-branco.html>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

IGRAC - Centro Internacional de Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneos. **O que é água subterrânea?** Disponível em: <<https://www.un-igrac.org/what-groundwater>>. Acesso em: 9 ago. 2023.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas/SP: Editora Átomo, 2010. 3ª edição.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Átomo, 2008.

LIMA, Brisa Ribeiro de et al. **Uso e qualidade de água subterrânea utilizada por agricultores familiares no Território Sertão Produtivo, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 7, n. 16, p. 679-689, 2020.

LIRA, Osman de Oliveira. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em etas**. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/491/06%20-%20Manual%20de%20controle%20da%20qualidade%20da%20%C3%A1gua%20para%20t%C3%A9cnicos%20que%20trabalham%20em%20ETAS%202014.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

MAGALHÃES, Yara Arruda et al. **Qualidade microbiológica e físico-química da água dos açudes urbanos utilizados na dessedentação animal em Sobral, Ceará**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 12, n. 2, p. 141-148, 2014.

MARION, Fabiano André; CAPOANE, Viviane; DA SILVA, José Luiz Silvério. **Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no campus da UFSM, Santa Maria-RS**. Ciência e Natura, p. 97-109, 2007.

MARTINS, Geraldo Jorge Mayer et al. **Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico**. 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80296>>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Quatro bilhões de pessoas enfrentam grave escassez de água**. Science Advances. Ed. 2, vol. 2.12 de fevereiro de 2016. DOI: 10.1126/sciadv.1500323.

MIDÕES, Carla; FERNANDES, Judite; COSTA, Cristina Gomes da. **Água subterrânea: conhecer para proteger e preservar**. Publicação sob o projecto N° P-IV-1052, do Programa Ciência Viva, 2001. Disponível em: <https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/488/1/27629.pdf>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

MOLDEN, David (Ed.). **Água para a alimentação, água para a vida: Uma avaliação abrangente da gestão da água na agricultura**. Routledge, 2013. Disponível em: < https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/36462/Summary_SynthesisBook.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

MÓL, G. de S.; BARBOSA, A. B.; SILVA, RR da. **Água dura em sabão mole**. Química Nova na Escola, v. 2, p. 32-33, 1995.

MOLIN, José P.; RABELLO, Ladislau M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia Agrícola, v. 31, p. 90-101, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100009>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

OLIVEIRA, A. M. P. **Alcalinidade e Dureza das Águas**. 2020. Elaborado por Aline Maxiline Pereira Oliveira. Disponível em: <https://kurita.com.br/artigos-tecnicos/alcalinidade-e-dureza-das-aguas/>. Acesso em: 02, dezembro de 2023.

OLIVEIRA, T.; CARVALHO, A. R. P. **Osiose Reversa**. 2020. Elaborado por Tatiana de Oliveira/Antonio R. P. Carvalho. Disponível em: <https://kurita.com.br/artigos-tecnicos/osiose-reversa/>. Acesso em: 02, dezembro de 2023.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. de F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>. Acesso em: 7, setembro de 2023.

PASINI, F.; DAMKE, T. **A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil**. Revista Eletrônica TECCEN, v. 13, n. 1, p. 8-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21727/teccen.v13i1.2200>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/en.php>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

PINHEIRO, L. G. et al. **Avaliação da sustentabilidade do processo de dessalinização de água no semiárido potiguar: Estudo da comunidade Caatinga Grande.** Sociedade & Natureza, v. 30, p. 132-157, 2020.

PIRES, A. P. F.; FARJALLA, V. F. **Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil.** 2020. Disponível em: https://www.bpbes.net.br/wp-content/uploads/2018/11/BPBES-2020-Relat%C3%B3rio-Tem%C3%A1tico-_%C3%81gua.pdf. Acesso em: 11, setembro de 2023.

PRÜSS-USTÜN, A. et al. **Carga de doenças causadas por água, saneamento e higiene inadequados para resultados de saúde adversos selecionados: uma análise atualizada com foco em países de baixa e média renda.** Jornal internacional de higiene e saúde ambiental, v. 222, n. 5, pág. 765-777, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463918310484?via%3Dihub>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

SANTOS, R. S. **SAÚDE E QUALIDADE DA ÁGUA: ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS EM ÁGUA SUBTERRÂNEAS.** Revista contexto & saúde, v. 13, n. 24-25, p. 46-53, 2013. Disponível em: [file:///C:/Users/jemes/Downloads/2877-Texto%20do%20artigo_-16644-1-10-20140915%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/jemes/Downloads/2877-Texto%20do%20artigo_-16644-1-10-20140915%20(2).pdf). Acesso em: 04, outubro de 2023.

SENA, S. F. M. **Estudos hidroquímicos da água produzida de um determinado campo de petróleo da bacia potiguar.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12950>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

SERAFIM, A. L.; VIEIRA, E. L.; LINDEMANN, I. L. **Importância da água no organismo humano.** Vidya, v. 24, n. 41, p. 11, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.edu.br/index.php/VIDYA/article/view/425>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

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

SILVA JÚNIOR, L. G. de A.; GHEYI, Hans Raj; MEDEIROS, José Francismar de. **Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, p. 11-17, 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6Z33C5v9pKmBXMbDRFCTXwL/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

SIQUEIRA, L. A. et al. **Titulador automático baseado em filmes digitais para determinação de dureza e alcalinidade total em águas minerais/Titulador automático baseado em filmes digitais para determinação de dureza e alcalinidade total em águas minerais**. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9013>>. Acesso em: 14, setembro de 2023.

SKOOG et al. **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a "visão mundial da água"**. RBRH: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 5, n. 3 (jul./set. 2000), p. 31-43, 2000. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/232499/000277300.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

TUCCI, Carlos EM; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Gestão da água no Brasil**. 2001.

UNESCO. **Groundwater: making the invisible visible. The United Nations World Water Development Report 2022**. Paris: Unesco, 2022. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>. Acesso em: 11, setembro de 2023.

UNESCO – WWAP. **Fatos e dados do relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 4: o manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e risco**. Programa mundial de avaliação da água das nações unidas. 2012. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215492_por>. Acesso em: 09 ago. 2023.

UN-WATER. 2023. Water Scarcity. **Escassez de água**. Disponível em: <<https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity>>. Acesso em: 11 ago. 2023.

VIANA, Viviane Soares. **Classificação da salinidade da água de poços com base na concentração de cloretos**. 2020.

VICTORINO, Célia Jurema Aito. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. 231 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

Water Online. **Groundwater vs. Surface Water: A Treatment Comparison**. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.wateronline.com/doc/groundwater-vs-surface-water-a-treatment-comparison-0001>>. Acesso em: 5 ago. 2023.

XU, Tian et al. Ingestão de magnésio e mortalidade por doença cardiovascular: uma meta-análise de estudos de coorte prospectivos. *Revista internacional de cardiologia*, v. 167, n. 6, pág. 3044-3047, 2013.