



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

LINDACI MEDEIROS DA SILVA

**QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS PROFUNDOS E DE CISTERNAS
UTILIZADAS NO ABASTECIMENTO DE COMUNIDADES RURAIS SITUADAS
NAS PROXIMIDADES DE MOSSORÓ/RN**

MOSSORÓ

2023

LINDACI MEDEIROS DA SILVA

**QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS PROFUNDOS E DE CISTERNAS
UTILIZADAS NO ABASTECIMENTO DE COMUNIDADES RURAIS SITUADAS
NAS PROXIMIDADES DE MOSSORÓ/RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do a autora, sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e sua respectiva autora seja devidamente citada e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pela autora

SL742 q Silva, Lindaci Medeiros da
Qualidade da água de poços profundos e de
cisternas utilizadas no abastecimento de
comunidades rurais situadas nas proximidades de
Mossoró/RN / Lindaci Medeiros da Silva. - 2023.
63 f.: il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2023.

1. Saneamento. 2. Água Potável.
3. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos . . I.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LINDACI MEDEIROS DA SILVA

**QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS PROFUNDOS E DE CISTERNAS
UTILIZADAS NO ABASTECIMENTO DE COMUNIDADES RURAIS SITUADAS
NAS PROXIMIDADES DE MOSSORÓ/RN**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 18/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Phâmella Kalliny Pereira Farias, Profa. Dra. (UFERSA)
Membra Examinadora

Layla Bruna Lopes Reges, Enga. (PPGMSA-UFERSA)
Membra Examinadora

Aos meus avós paternos **Noêmia Gomes Falcão Silva** (*In Memoriam*), **Luiz Hermínio da Silva** (*In Memoriam*) que me criaram como filha e ao meu pai **Luíz Antônio da Silva** (*In Memoriam*) que já não estão mais entre nós para me ver realizando esse sonho.

A minha mãe **Maria do Socorro Medeiros da Silva**. As minhas irmãs **Lindinalva Medeiros, Lúcia Kalene** e Maria Lindaiana. Aos meus sobrinhos **Iantha Gabriel, Tiago Rodrigues, Maria Lorena** e **Isadora Sofia**.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter colocado esse sonho em meu coração e por ter me ajudado a realizá-lo, diante de tantos obstáculos que surgiram em meu caminho nesse longo período de dedicação a essa formação, pois só Deus sabe o quanto precisei ser forte, mesmo sem força, mas tudo que passei contribuiu para o meu crescimento, sei que o Senhor nunca soltou a minha mão e nunca permitiu que eu desistisse, sendo fiel em cumprir suas promessas.

Agradeço, ao meu orientador Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista, que durante seis meses me acompanhou pontualmente com paciência e dedicação, dando todo o auxílio necessário para a elaboração desse trabalho de conclusão de curso, agradeço por ser um excelente profissional, um ser humano admirável. Sem a sua ajuda eu não teria conseguido.

Agradeço ao meu sobrinho Iantha Gabriel por ter me repassado seus conhecimentos no mundo da tecnologia de forma incansável. A todos os meus familiares que torceram para ver minha vitória, em especial ao meu pai Luíz Antônio e avós paternos Noêmia Gomes e Luíz Hermínio e que iriam se orgulhar muito em me ver concluindo esse curso.

A todos os profissionais e demais funcionários que fazem parte da Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA), aos mestres que contribuíram para essa formação, em especial a Prof^a. Dra. Jusciane da Costa e Silva por ter acreditado na minha capacidade e ao Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira.

Agradeço também a toda a equipe que faz parte da Secretaria de Agricultura e Desenvolvimento Rural, da cidade de Mossoró, que contribuíram de forma significativa nesta pesquisa, tanto com informações como também em diversas viagens em campo para que eu pudesse ter conhecimentos e dados da realidade na qual estava pesquisando.

Sou grata aos diversos amigos que conheci durante toda essa jornada de estudo na universidade. Aos meus amigos do grupo de estudo, Fredina Aline, Mateus do Nascimento, Kadidja Meyre e Luzia Myrleyde, pelo apoio nas dificuldades, por não permitir que eu desistisse, dividimos juntos choros, alegrias e cansaços que me ajudaram a vencer essa batalha.

Agradeço a todos que me ajudaram até aqui!

Deus é o nosso refúgio e a nossa força, socorro que não falta em tempos de aflição. Por isso, não teremos medo, ainda que a terra seja abalada e as montanhas caiam nas profundezas do oceano.

Salmo 46: 1-2

RESUMO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos. A falta desse recurso hídrico afeta severamente as condições de vida de muitos brasileiros, principalmente nas áreas rurais. Visando suprir essas necessidades, poços subterrâneos são perfurados e em lugares onde não existe saneamento básico a distribuição dessa água ocorre através de carro pipa e o armazenamento em cisternas, esses reservatórios recebem, também, água de chuva. A mistura dessas águas ou a forma errada da sua captação pode comprometer a qualidade da água armazenada, que coloca em risco a saúde humana. Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo estudar a qualidade da água de dois poços profundos de Mossoró-RN e de três cisternas que abastecem as comunidades rurais no entorno do município de Mossoró-RN. Para isso, foram coletadas cinco amostras de água, sendo duas de poços profundos (P-14 e P-26) e três de cisternas de residências rurais (C01, C02 e C03) próximas a Mossoró-RN. Durante o período experimental foram caracterizados os seguintes parâmetros nas amostras de água: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , turbidez, pH, condutividade elétrica (CE), dureza, sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), os níveis populacionais dos coliformes totais e termotolerantes e os metais pesados As, Al, Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd e Pb. Com os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foi calculada a dureza da água, com os valores de Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} foi obtida a razão de adsorção de sódio (RAS) e com os valores ST e SST estimaram-se os teores de sólidos dissolvidos totais (SDT). Esses parâmetros foram comparados com a nova Portaria GM/MS nº 888/2021 sobre potabilidade da água. Os resultados indicaram que os parâmetros físicos de todas as amostras atenderam ao padrão de potabilidade. Em relação aos parâmetros químicos houve restrição para o Cd e Pb de todas as cinco amostras, já o Ni apresentou restrição em um dos poços (P-14) e em uma das amostras das cisternas (C02). Todas as amostras retiradas das cisternas apresentaram contaminação microbiológica por coliformes totais e se mostraram impróprias para consumo humano, devido à presença de coliformes termotolerantes.

Palavras-chave: Saneamento. Água Potável. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

ABSTRACT

Water is an essential resource for the survival of all living beings. The lack of this water resource severely affects the living conditions of many Brazilians, especially in the rural areas. In order to meet these needs, underground wells are drilled and in places where there is no basic sanitation, the distribution of this water is carried out by tank truck and stored in cisterns, these reservoirs also receive rainwater. The mixing these waters or the wrong way of capturing them can compromise the quality of the stored water, that endangers human health. Given the above, the present work aims to study the water quality of two deep wells in Mossoró-RN and three cisterns that supply rural communities around the municipality of Mossoró-RN. For this, five water samples were collected, two from deep wells (P-14 and P-26) and three from cisterns in rural residences (C01, C02 and C03) close to Mossoró-RN. During the experimental period the following parameters were characterized in the water samples: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , turbidity, pH, electrical conductivity (EC), hardness, total suspended solids (TSS), total solids (TS), population levels of total and thermotolerant coliforms and metals and heavy metals As, Al, Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd and Pb. With the values of Ca^{2+} and Mg^{2+} the hardness of the water was calculated, with the values of Na^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} the ratio of sodium adsorption (RSA) was obtained and with the values TS and TSS the contents of totals dissolved solids (TDS) were estimated. These parameters were compared with the new Ordinance GM/MS nº 888/2021 on water potability. The results indicated that the physical parameters of all samples met the potability standard. Regarding the chemical parameters, there was a restriction for Cd and Pb in all five samples, while Ni was restricted in one of the wells (P-14) and in one of the samples from the cisterns (C02). All samples taken from the cisterns showed microbiological contamination by total coliforms and proved to be unfit for human consumption, due to the presence of thermotolerant coliforms.

Keywords: Sanitation. Potable Water. Physical-chemical and microbiological parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição de água subterrânea quanto seu uso no país	22
Figura 2	Distribuição dos principais sistemas aquíferos do país	23
Figura 3	Mapa de localização do município de Mossoró-RN	27
Figura 4	Acesso ao atendimento de água (A) e acesso a esgotamento sanitário (B) pela população brasileira em 2021.....	30
Figura 5	Índice de perdas na distribuição de 2016 a 2020 por regiões	32
Figura 6	Formas de abastecimento na área rural do município de Mossoró.....	33
Figura 7	Distribuição de água no ano de 2022 nas comunidades rurais situadas nas proximidades de Mossoró	35
Figura 8	Imagem da localização da área do poço PT-14 em Mossoró	41
Figura 9	Imagem da localização da área do poço PT-26 em Mossoró	42
Figura 10	Imagem da coleta da amostra de água no poço (A), coleta da amostra na cisterna (B), cisterna utilizada para armazenar água subterrânea e água de chuva (C), armazenamento das amostras (D)	43
Figura 11	Imagem da localização da área do Complexo Integrado de Laboratório I localizado no campus Oeste da UFERSA Mossoró/RN (A). Imagem da sala do laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal (B)	44
Figura 12	Tubos de ensaios contendo, no fundo, um tubo invertido (tubo Durhan) (A), esterilização de material em autoclave (B) e placas positivas para Escherichia coli (C)	45
Figura 13	Entrada do prédio onde fica localizado o Laboratório do LASAPSA (A) no campus Leste da UFERSA, em Mossoró/RN, (B) parte lateral do prédio	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação por localidade do saneamento em relação a saúde e a renda da população	31
Tabela 2	Cenários, objetivos e metas dos serviços de Abastecimento de Água da Zona Rural do município de Mossoró	34
Tabela 3	Localidades contempladas com sistemas de dessalinização	36
Tabela 4	Padrão bacteriológico da água para consumo humano	38
Tabela 5	Padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde	39
Tabela 6	Padrão organoléptico de potabilidade.....	39
Tabela 7	Características físico-químicas e microbiológicas das águas dos poços profundos e das cisternas das comunidades rurais de Mossoró/RN, assim como os padrões estabelecidos pela portaria da potabilidade da água (Portaria GM/MS N°888/2021)	51

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo
ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
AgNO ₃	Nitrato de prata
Art	Artigo
C	Celsius
CAS	Chemical Abstract Service
CETEB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Et al	e outros/outras
GM	Gabinete do Ministro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
Km	Quilômetro
L/s	Litro por segundo
M	Metro
km ²	Quilômetro quadrado
M ³	Metro cubico
Mg	Miligrama
Mg/l	Miligrama por litro
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
MS	Ministério da Saúde
Nº	Número
NMP	Número Mais Provável
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PA	Projeto de Assentamento
PRT	Portaria
R\$	Real
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
uH	Unidade de Hazen
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	Revisão de literatura	18
2.1	Definição de recursos hídricos subterrâneos.....	18
2.2	Histórico sobre recursos hídricos subterrâneos no Brasil e no mundo.....	19
2.2.1	Usos múltiplos dos recursos hídricos subterrâneos e aquíferos no Brasil.....	20
2.2.2	Recursos hídricos subterrâneos no Nordeste do Brasil	24
2.2.3	Recursos Hídricos Subterrâneos no Estado do Rio Grande do Norte.....	25
2.2.4	Recursos Hídricos no município de Mossoró-RN.....	26
2.3	Saneamento básico.....	29
2.4	Sistemas de abastecimento de água da zona rural do município de Mossoró/RN	32
2.5	Importância e parâmetros e padrões para a potabilidade da água	36
3	Materiais e métodos.....	41
3.1	Localização e caracterização da área de estudo.....	41
3.2	Coletas das amostras	42
3.3	Descrições das análises microbiológicas	44
3.4	Análises físico-químicas da água	45
3.5	Análise física da água	48
3.6	Análise de metais e metais pesados	50
4	Resultados e discussão	51
4.1	Parâmetros físico-químicas e microbiológicas das amostras de água	51
4.1.1	Potencial hidrogeniônico pH	52
4.1.2	Condutividade elétrica (CE)	52
4.1.3	Cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})	53
4.1.4	Carbonato (CO_3^{2-}) e Bicarbonato (HCO_3^-)	53
4.1.5	Cloreto (Cl^-)	54
4.1.6	Sódio (Na^+)	54
4.1.7	Potássio (K^+)	54
4.1.8	RAS	55

4.1.9	Dureza	55
4.1.10	Ferro (Fe) e Manganês (Mn)	55
4.1.11	Arsênio (As), cobre (Cu) e chumbo (Pb).....	56
4.1.12	Alumínio (Al) e Níquel (Ni)	56
4.1.13	Zinco (Zn) e Cádmio (Cd)	56
4.1.14	Cromo (Cr)	56
4.1.15	Turbidez	57
4.1.16	Sólidos Dissolvidos Totais	57
4.1.17	Coliformes totais (CT).....	58
4.1.18	Coliformes termotolerantes (CTE).....	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
6	REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas possuem uma grande importância para o desenvolvimento das atividades humanas, isso ocorre devido a sua grande quantidade e sua boa qualidade. As águas subterrâneas sustentam diversos sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos e são essenciais para manutenção de florestas em regiões de clima tropical ou seco. A extração desse mineral através de poços profundos é muito comum no Nordeste brasileiro, isso ocorre devido às dificuldades impostas pela natureza encontradas nessa região, onde as chuvas erráticas não são suficientes para manter a sobrevivência da população (HIRATA et al., 2019).

Obter conhecimentos sobre os recursos hídricos subterrâneos pode garantir a disponibilidade de tal recurso para as futuras gerações, pois sabe-se que os aquíferos são considerados os maiores reservatórios de água potável da humanidade.

Grassi (2001) relata que, mesmo o saneamento básico sendo um direito garantido pela Constituição, no Brasil, ainda existe uma quantidade significativa de pessoas sem acesso a água potável, sem acesso a coleta de esgoto, isso causa grandes perdas na qualidade de vida da população, que sofre constantemente com a distribuição irregular de água, principalmente a população rural.

Segundo o Instituto Trata Brasil (2021), só no ano de 2021 o Brasil registrou quase 130 mil internações e 1.493 óbitos provocados pelas chamadas doenças de veiculação hídrica, causadas por contaminações na água. Este número alarmante revela o quanto a falta de saneamento prejudica a vida no país, fazendo com que milhões de brasileiros sejam obrigados a viver sem água potável.

Nos últimos anos a população rural vem passando por um crescimento, e isso aumenta, também, a demanda por água de boa qualidade para suprir as necessidades das pessoas, por isso ter conhecimento e a execução de um bom plano nacional que visem encontrar a água de boa qualidade nos poços e trabalhar o melhoramento da distribuição desse recurso, irá melhorar a qualidade de vida das populações carentes de recursos hídricos, trazendo uma grande relevância futura.

A universalização do abastecimento de água é uma grande meta para os países em desenvolvimento (SILVA et al., 2017). As cisternas são pequenos reservatórios usados como solução para o armazenamento da água de chuva no meio rural. Só que a perda de qualidade e a contaminação desse recurso natural ocorrem na superfície de captação ou quando está armazenada de forma não protegida. Além disso, as cisternas, também, são abastecidas por águas subterrâneas transportadas por carros-pipa, o que pode comprometer a qualidade desse

recurso armazenado. Sendo assim, nem sempre a qualidade desse líquido armazenado em cisterna atende aos padrões de potabilidade da água para os parâmetros físico-químicos ou microbiológicos.

Diante do exposto, torna-se imprescindível avaliar a qualidade da água que chega às comunidades rurais com o intuito de propor soluções que viabilizem a não ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a qualidade da água de dois poços profundos e de três cisternas que abastecem as comunidades rurais no entorno do município de Mossoró-RN.

1.1.2 Objetivos específicos

Realização da caracterização de parâmetros físico, químicos e microbiológico da água de dois poços profundos e de três cisternas que abastecem comunidades rurais nas proximidades de Mossoró-RN.

Reconhecer os níveis de segurança hídrica em comunidades rurais no município de Mossoró-RN com base na legislação vigente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Definição de recursos hídricos subterrâneos

A água é um recurso natural essencial para a humanidade e as maiores fontes disponíveis de água doce encontram-se no subsolo. Ao contrário das águas superficiais, as águas subterrâneas não se revelam facilmente aos olhos (TODD, 1967), mas elas desempenham um papel importante no potencial de recursos hídricos no mundo (FREEZE; CHERRY, 2017).

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram abaixo da superfície do solo, elas conseguem ocupar todos os poros das rochas e dos sedimentos formando os aquíferos (HIRATA et al., 2019). Segundo Todd (1967), praticamente toda a água subterrânea se origina de água superficial.

Aquífero, portanto, é definido pelo Art. nº 2 inciso III, da Resolução Conama 396, de 3 de abril de 2008, como sendo um corpo da hidrogeologia, capaz de acumular e transmitir água através dos seus poros, das suas fissuras ou dos seus espaços, resultantes da dissolução e do carreamento de materiais rochosos (BRASIL, 2008).

Tomando outra definição segundo a Agência Nacional da Água – ANA (2020), o aquífero é um reservatório de água abastecido pela chuva. Essas reservas de água alimentam os rios e poços artesianos. No período de chuva a água escoar pela terra e se deposita nos aquíferos, depois eles liberam a água que vai abastecer os rios principalmente na época de seca. Contribuindo, assim, para que boa parte dos rios brasileiros sejam perenes, ou seja, não sequem no período da estiagem.

As águas subterrâneas representam 97% das águas doces e líquidas do planeta, isso faz com que os aquíferos sejam os maiores reservatórios de água potável do mundo. As águas subterrâneas tem uma grande importância para a vida humana, pois suprem as necessidades das cidades e do campo e servem de insumo para diversas atividades econômicas, além de sustentar vários sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos. Sem elas as florestas em regiões de clima seco ou tropical não existiriam, assim como os ambientes aquáticos não existiriam ou não cumpririam as suas funções ambientais (HIRATA et al., 2019).

2.2 Histórico sobre recursos hídricos subterrâneos no Brasil e no mundo

De acordo com Rebouças (1981), a exploração das águas subterrâneas teve origem quando o homem primitivo foi levado a escavar o chão em busca de água, certamente ao observar a ação do cavalo selvagem ou do lobo. Desde então, essa matéria prima que é considerada a mais importante da Terra tornou-se uma de suas possessões. Até a água subterrânea aparecer em fontes ou poços, ela tem sempre sido um mistério para o homem (FREEZE; CHERRY, 2017).

A história indica que antes das construções do primeiro aqueduto em 312 a.c., a Roma se abastecia de poços escavados. O subsolo era tão rico em águas que era possível ter bons poços a uma profundidade de apenas cinco metros. Assim como na Grécia do século sexto a.c., que em muitas casas eram abastecidas por poços com profundidade de várias dezenas de metros, lá as ruas que eram consideradas mais largas assim como as praças, eram construídos poços públicos dispendo inclusive de formas de proteção contra as contaminações diretas. Muitas dessas obras, ainda, podem ser vistas em Atenas, relata (REBOUÇAS, 1981).

Os poços artesianos de Artois, na França, e Modena, na Itália, construídos em 1126, centralizaram as atenções populares e científicas da época, pelo fato de serem jorrantes e terem sido perfurados ao invés de escavados (REBOUÇAS, 1981.p. 6).

Já no Brasil os primeiros poços foram perfurados no início do século XIX. Mas foi em 1831, que a Regência Trina autorizou a abertura de fontes artesianas profundas com o objetivo de atender as necessidades das regiões brasileiras. O objetivo do Nordeste era combater o problema das secas e na região sudeste do Brasil os poços foram perfurados com o a finalidade de buscar água de qualidade especial para ser utilizada na fabricação de cerveja e uísque (REBOUÇAS, 1981).

Sendo assim, desde da antiguidade que as águas subterrâneas vindas de poços e nascentes tem servido como fonte de abastecimento de água doméstico, onde sua exploração veio crescendo com o aumento da população urbana e das atividades industriais, após a segunda Guerra Mundial (REBOUÇAS, 1981).

As contribuições das águas subterrâneas desempenham uma função importante nos abastecimentos que dependem de fontes superficiais, pois é a descarga das águas subterrâneas que sustenta a maioria dos cursos de água na estação seca. Esse tipo de água é mais amplamente distribuído em relação às águas superficiais, uma vez que, a conexão entre ambas é o ciclo da água, ou o ciclo hidrológico (TODD, 1967).

Existe hoje no Brasil e no mundo inteiro uma grande dificuldade de dados detalhados e quantitativos, no que se refere à disponibilidade, quantidade, uso e distribuição geográfica dos recursos da água subterrânea, mesmo a hidrogeologia sabendo o tamanho da importância desse recurso. Os dados relacionados à água subterrânea podem ser somente obtidos através de perfuração normalmente muito cara, de poços, em geologia não homogênea, totalmente diferente das águas superficiais, cujas taxas de fluxo e qualidade são medidas de forma fácil custo baixo (CLEARY, 2007).

A maioria das agências estaduais e federais não têm os recursos financeiros necessários, para construir redes adequadas de poços de monitoramento. E mesmo financiando um estudo a geologia é tão peculiar e sua área horizontal tão limitada em extensão, que sua utilidade acaba sendo restrita. Sendo assim, as agências governamentais são obrigadas a usar como base os dados de poços municipais e particulares (CLEARY, 2007).

A evolução humana tem feito aumentar a demanda e desenvolver as pesquisas para o bom aproveitamento da água. Na medida em que o homem avança no conhecimento da ocorrência e movimento da água subterrânea, melhora os meios de sua extração. O conhecimento da hidrologia de água subterrânea expandiu-se rapidamente nas décadas recentes e tal conhecimento cresce no futuro a uma velocidade ainda maior. A escassez desse líquido em áreas de consumo excessivo dá ênfase à importância de estimativas corretas e de adequado aproveitamento, regulação, e proteção do abastecimento, a fim de garantir a disponibilidade contínua deste recurso natural tão importante. As águas subterrâneas são fonte importante de abastecimento de água em todo o mundo. Seu emprego na irrigação, em indústrias, municípios e residências rurais continua a crescer (TODD, 1967).

A natureza velada desse recurso subterrâneo acoberta sua importância social, ambiental e econômica, bem como dificulta o diagnóstico sobre sua situação e a consolidação de políticas públicas específicas. A percepção da sociedade sobre a existência desse recurso e de sua importância econômica e ambiental é deficiente mesmo nos municípios ou setores econômicos onde essas águas constituem a principal fonte hídrica. O desconhecimento sobre o seu papel e das ações necessárias para a sua proteção torna os aquíferos mais vulneráveis ao risco de contaminação ou ao mau uso, o que pode acarretar, neste último caso, sua super exploração. (HIRATA, et al., 2019, p.14).

2.2.1 Usos múltiplos dos recursos hídricos subterrâneos e aquíferos no Brasil

As águas subterrâneas são fundamentais para cumprir os compromissos da Agenda 2030 e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil, pois garantem o abastecimento público de milhares de pessoas, sustentam sistemas de irrigação para a produção de alimentos, são utilizadas como insumo para a produção industrial e mantêm importantes ecossistemas. Seu uso promove o progresso local,

contribuindo para o crescimento econômico, erradicação da pobreza, promoção da dignidade humana e o bem-estar das populações (HIRATA, et al., 2019, p.8).

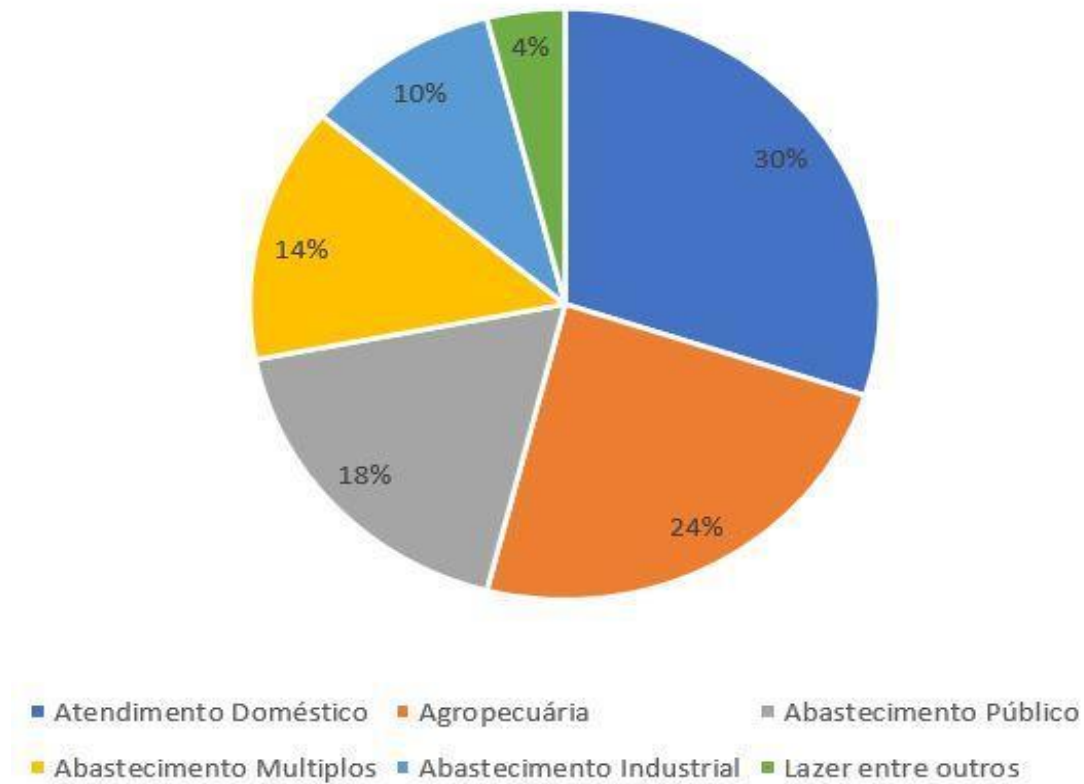
No Brasil não se sabe o número real de poços explorados, pois muitos poços perfurados são mascarados por condição de clandestinidade, mesmo a informação de sua existência sendo obrigatório por lei do registro e/ou de autorização de extração de água, conhecida como outorga. A quantidade de captações que estão regulares é de pouco mais de 1% no caso dos poços tubulares. As águas subterrâneas no Brasil são extraídas por meio de poços tubulares, poços escavados e poços de nascente (HIRATA, et al., 2019).

No Brasil 40% das sedes urbanas são abastecidas exclusivamente por mananciais subterrâneos e 43% exclusivamente por mananciais superficiais, os 17% se dividem em abastecimento misto, ou seja, subterrâneo e superficial. O uso do manancial superficial, ainda, é preponderante no Brasil, especialmente nos grandes centros urbanos (ANA, 2021).

Os estados que possuem o maior uso dos mananciais subterrâneos são: Mato Grosso do Sul com (80%), Piauí (78%), Maranhão (74%), Pará (74%) e Amazonas (71%). Os menores usos dos mananciais subterrâneos se dão no Espírito Santo, Rio de Janeiro, Pernambuco e Paraíba, tanto em número de sedes quanto de população (ANA, 2021).

No Brasil inúmeras atividades econômicas usam a água subterrânea com o objetivo de suprir suas necessidades, tornando esse recurso natural o mais extraído do subsolo brasileiro. Seu uso está distribuído entre atendimento doméstico (30%), agropecuária (24%), abastecimento público urbano (18%), abastecimento múltiplos (14%), abastecimento industrial (10%), lazer entre outros (4%) (HIRATA et al., 2019). Na Figura 1 apresenta-se a distribuição da água subterrânea quanto ao seu uso no Brasil.

Figura 1 - Distribuição de água subterrânea quanto seu uso no país.



Fonte: Extraído de Hirata et al. (2019).

De acordo com os dados da ANA (2007), no Brasil, estima-se que existam 27 aquíferos. Os principais deles estão situados nas bacias sedimentares brasileiras e são apresentados na Figura 2. Eles apresentam ampla distribuição no território nacional e a qualidade de suas águas permite os aproveitamentos para diferentes fins.

grande potencial de uso. O Alter do Chão compreende um sistema de hidrogeologia com propriedades de aquífero livre (IMBIRIBA JUNIOR; MELO JUNIOR, 2013).

Segundo os dados da ANA (2007), o aquífero Alter do Chão possui uma qualidade de água boa, apresentando pH de 4,8 e sólidos totais dissolvidos inferiores a 100 mg/ l. Mas com altas concentrações de ferro causadas pelas incrustações em tubulações e filtro de poços que causa mudança no gosto da água, concentrações essas de ferro que alcançam algumas vezes 15 mg/l.

Diversos usuários, residenciais, de serviços ou industriais, preferem utilizar as águas subterrâneas mesmo tendo disponibilidade de rede de água potável. Essa procura justifica-se pela boa qualidade das águas subterrâneas, dos baixos custos de extração e da autonomia de se possuir uma fonte hídrica exclusiva (HIRATA et al., 2019).

2.2.2 Recursos hídricos subterrâneos no Nordeste do Brasil

A região Nordeste do Brasil corresponde ao denominado Polígono das Secas, instituído pela Lei 1.348 de 10 de fevereiro de 1951. Esse fenômeno é típico de região de clima semiárido e está, diretamente, relacionado ao regime pluviométrico, caracterizado pelo baixo volume de chuva. O semiárido brasileiro é uma região caracterizada por precipitação pluviométrica média anual menor ou igual a 800 mm, Índice de Aridez de Thornthwaite inferior de 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano; além disso, esta região é composta por municípios, que ocupam 1.128.697 km² correspondente a 13,26% do território nacional, nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (BRASIL, 2017).

Nessa região as águas subterrâneas, principalmente em períodos de seca, são muito utilizadas para o abastecimento da população. Em lugares afastados dos rios e riachos, nas regiões de caatinga, as chuvas erráticas, não são suficientes para manterem colheitas regulares a cada ano (SALAZAR; CORDEIRO, 1985), isso faz com que a região possua características vinculadas a miséria, baixa produção agropecuária, baixa qualidade dos produtos de origem animal e vegetal entre outros (MEDEIROS et al., 2012).

De acordo com Soldara (2022), 40% da população rural da região Nordeste sofre com a falta de água e muitas vezes a única fonte de água doce é a água subterrânea. Em relação às águas subterrâneas ANA (2007) relata que a maior parte do semiárido nordestino, cerca de 600.000 km², é constituída por terrenos cristalinos (granitos, gnaisses, xistos, etc.), com solos pouco profundos e de baixa capacidade de infiltração e armazenamento de água subterrânea,

nessa área os poços muito comumente apresentam vazões entre 1 e 3 m³ /h. Em geral, a qualidade química da água nos terrenos cristalinos é boa, os problemas, quando existentes estão relacionados a elevado conteúdo salino, frequentemente acima dos padrões de potabilidade, ou seja, imprópria para o consumo. Há de se ressaltar, entretanto, a existência de bacias sedimentares, de ocorrência localizada, com grande potencial hídrico.

Apesar das frequentes restrições relativas à sua qualidade, geralmente salinizada proveniente do embasamento cristalino, essa extração consegue beneficiar milhares de pessoas (PEIXINHO; DINIZ, 2019). Em muitos lugares a única forma dessa água chegar até a população é através de caminhões pipas. Os caminhões pipa são bastante utilizados nas cidades nordestinas, pois ajudam a minimizar a falta de abastecimento de água principalmente na zona rural dos municípios (SOLDERA, 2022).

Esse tipo de abastecimento é amplamente utilizado na irrigação em Mossoró/RN e no Oeste da Bahia. A água subterrânea é ainda responsável pelo turismo associado às águas termais, em cidades e é amplamente usada pelas populações dos centros urbanos pela sua imagem de garantia de qualidade (ANA, 2007).

2.2.3 Recursos Hídricos Subterrâneos no Estado do Rio Grande do Norte

O Rio Grande do Norte é um estado que possui 167 municípios, nele existe um equilíbrio entre o número de sedes urbanas que são abastecidas por mananciais superficiais e subterrâneos. Cerca de 51% utilizam exclusivamente mananciais superficiais, 44% exclusivamente subterrâneas e os 5% restantes utilizam o abastecimento de forma mista, tanto mananciais superficiais como subterrâneos (ANA, 2021).

As fontes de águas subterrâneas sempre tiveram um papel importante no Nordeste devido à seca, essas fontes têm como objetivo diminuir os problemas de abastecimentos dos estados, sendo assim, a perfuração de poços no Rio Grande do Norte atende as comunidades e ameniza o problema da falta de água (OLIVEIRA JÚNIOR; SILVA; SILVA, 2016).

O Rio Grande do Norte possui um domínio de rochas sedimentares que abrange cerca de 50% da área territorial do estado, que está representada pela Bacia Potiguar e Faixa Sedimentar Litorânea. A Bacia Potiguar está localizada na parte mais oriental da região do Nordeste brasileiro, estende-se pelos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, contendo uma área territorial de 22.000 km² em terras potiguares. Nessa bacia ocorrem dois sistemas de aquíferos considerados os principais: 1) O livre (calcários de Formação Jandaíra e sedimentares); e 2) O confinado (arenitos de Formação Açu). O Aquífero Açu possui qualidade

química da água boa e a água do aquífero Jandaíra apresenta restrições, isso ocorre devido ao elevado grau de salinização, com predominância dos teores de bicarbonato, magnésio e cálcio (FRISCHKORN; SANTIAGO; TORQUATO, 1988).

Além disso, existe interação entre as águas do aquífero Jandaíra e o aquífero Açu, seja em característica ascendente na zona de baixas estruturas, seja em fluxo descendente quando o aquífero Jandaíra cede parte de sua reserva, principalmente, por meio das zonas de contato de falhas. No Rio Grande do Norte alguns poços atingem o aquífero Açu outros poços captam aquífero livre representado pelo Jandaíra e outros poços não se pode identificar o tipo de aquífero captado (FRISCHKORN; SANTIAGO; TORQUATO, 1988).

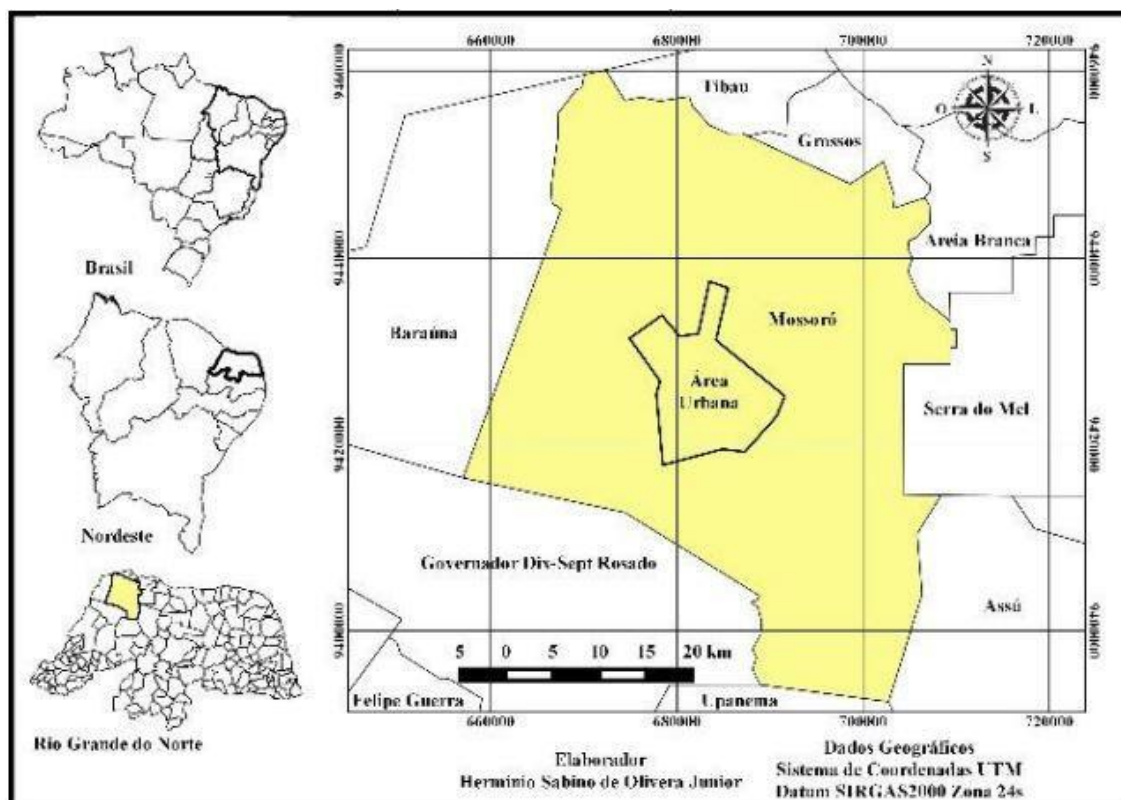
A faixa sedimentar litorânea se distribui ao longo do litoral leste desse estado, com largura média de aproximadamente 25 km. Cerca de 61% do abastecimento público da cidade de Natal/RN é feito através de poços tubulares captando a água contida nos sedimentos arenosos das dunas da Formação Barreiras nesta região. A maioria dos poços perfurados na faixa costeira apresenta profundidade na ordem de 40 a 100 m, com vazões de exploração variando de 10 a 50 m³/h, relata a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2003 p. 21).

Os principais usos das águas são os abastecimentos doméstico, industrial e irrigação. Merece destaque a região de Mossoró/RN onde é intensamente explotado em projetos de irrigação. O Sistema Aquífero é intensamente utilizado para a irrigação na região da Chapada do Apodi, especialmente na região de Baraúna/RN (ANA, 2007).

2.2.4 Recursos Hídricos no município de Mossoró-RN

O município de Mossoró está situado na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Mossoró, limitando-se nos municípios de Tibau, Grossos, Areia Branca, Serra do Mel, Assu, Upanema, Governador Dix - Sept Rosado, Baraúna e o Estado do Ceará, possuindo uma área territorial de 2.099,334 km² tal área se localiza no estado do Rio Grande do Norte, que se situa inteiramente dentro da região conhecida como polígono das secas e é o segundo município mais populoso do estado segundo dados do (IBGE, 2021). Na Figura 3 consta a localização geográfica do município de Mossoró.

Figura 3 - Mapa de localização do município de Mossoró-RN.



Fonte: Oliveira Júnior, Silva e Silva (2016).

Mossoró-RN tem uma altitude média de 16 m e apresenta coordenadas 05°11'16,8" de latitude Sul e 37°20'38,4" de longitude Oeste distante da capital cerca de 277 km (BELTRÃO et al., 2005).

A cidade de Mossoró é grande usuária das águas do aquífero Açu, seja para o abastecimento humano, ou para a produção de culturas irrigadas. Possui uma demanda hídrica de cerca de 3.430 m³/h para o abastecimento doméstico e industrial (PEIXOTO et al., 2021).

Dessa forma Oliveira Junior, Silva e Silva (2016) relataram que o aquífero Açu pode suprir as atuais demandas da cidade de Mossoró, Maisa e usuários menores, durante os próximos dez a quinze anos, desde que, tendo em vista o panorama geral de exploração desse aquífero. O Instituto Água e Terra (2023) explica que, se a quantidade de água retirada através do poço for menor que a quantidade recuperada através da infiltração, o bombeamento pode continuar sem causar qualquer efeito desastroso. Mas, se o bombeamento for maior que a recarga, poderá haver em longo prazo o esgotamento do aquífero. Como todos os recursos, a água subterrânea deve ser conservada e utilizada adequadamente.

Até 2001, a cidade de Mossoró era abastecida apenas por manancial subterrâneo formado por poços tubulares de grandes profundidades. Logo, após o início da operação da

Adutora Jerônimo Rosado, ocorrido nesse mesmo ano, a cidade teve um reforço no sistema de produção de água (MOSSORÓ, 2019).

O município de Mossoró conta com dois sistemas de abastecimento distintos operados pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Segundo dados da Prefeitura Municipal de Mossoró, o atual sistema de abastecimento de água da cidade conta com duas fontes de abastecimento de água, uma subterrânea e outra superficial, 75% da água que é destinada para o município é proveniente de um sistema de 18 poços tubulares que retiram água do aquífero Arenito Açú, já os outros 25% correspondem à água proveniente do sistema da adutora Jerônimo Rosado da barragem Armando Ribeiro Gonçalves no município de Assú/RN (MOSSORÓ, 2019).

O aquífero Açú é constituído por arenitos de cores cinza a amarelada, a boa qualidade da água desse aquífero é demonstrada pela variedade de usos decorrentes de suas águas, principalmente a captação para produção de água potável e água mineral nos municípios de Apodi, Upanema e Assú, no Rio Grande do Norte (CAERN, 2019).

As águas retiradas dos poços na cidade de Mossoró dispensam tratamento. Estas são captadas em profundidades superiores a 900 metros, o que torna a temperatura da água bastante elevada se comparada à temperatura ambiente (em torno de 54° C). No entanto, é realizada a desinfecção com pastilhas de cloro em todos os poços da sede pela CAERN. Mesmo que esses poços estejam alocados na zona urbana da cidade, os poços possuem propriedades bacteriológicas e físico-químicos livres de contaminantes. Em nenhum desses poços foi evidenciado contaminação de qualquer natureza de acordo com os dados de monitoramento de qualidade da água bruta produzidos pelo abastecimento da CAERN (MOSSORÓ, 2019).

A água captada nos poços é encaminhada para os respectivos reservatórios, sendo na maioria dos casos, também, injetada diretamente na rede de distribuição. Em geral, os sistemas de abastecimento os quais os poços integram atendem bairros diversos, não existindo um sistema para cada bairro. Os poços e suas respectivas vazões em L/s são: PT-01 - 17,8; PT-06A - 49,2; PT-08A - 46,9; PT11A - 61,1; PT-14A - 58,9; PT-15A - 56,4; PT-18 - 53,1; PT-19 - 50,3; PT-20 - 7,8; PT-21 - 39,4; PT22 - 41,2; PT-23 - 20,6; PT-24 - 51,4; PT-26 - 41,7; PT-27 - 52,5; PT-28A - 11,7; PT-29 - 13,9; PT30 - 11,1; esses 18 poços totalizam uma vazão de 685,00 L/s (MOSSORÓ, 2019).

2.3 Saneamento básico

Segundo Von Sperling (2022), o saneamento básico é o conjunto de serviços que impacta, diretamente, a saúde pública, qualidade de vida e desenvolvimento da sociedade. A ausência de esgotamento sanitário, composta por coleta, transporte, tratamento dos esgotos e drenagem, causa grandes problemas ambientais. Devido parte da população ter contato com os esgotos que contém organismos causadores de doenças, isso faz com que a população sofra impactos na saúde.

A Política Nacional do Meio Ambiente, em sua Lei nº 6.938/1981, reconhece as águas superficiais e subterrâneas como sendo recursos ambientais, que necessitam ser preservados com vista a disponibilidade permanente e a manutenção da qualidade ambiental propicia a vida (BRASIL, 1981).

Devido o setor de saneamento básico, ser um dos principais usuários de recursos hídricos, ele desempenha um papel importante na proteção do meio ambiente, tanto em relação à quantidade como na qualidade da água, uma vez que a captação de água usada no abastecimento público e a disposição final dos esgotos sanitários em corpos hídricos impactam, diretamente, esse recurso ambiental (OLIVEIRA et al., 2022).

O Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) relatam que no mundo cerca de 2,2 bilhões de pessoas não têm acesso a serviços de água potável, 4,2 bilhões de pessoas não têm esgotamento sanitário e que 3 bilhões não possuem instalações básicas de encanação (UNICEF; OMS, 2019).

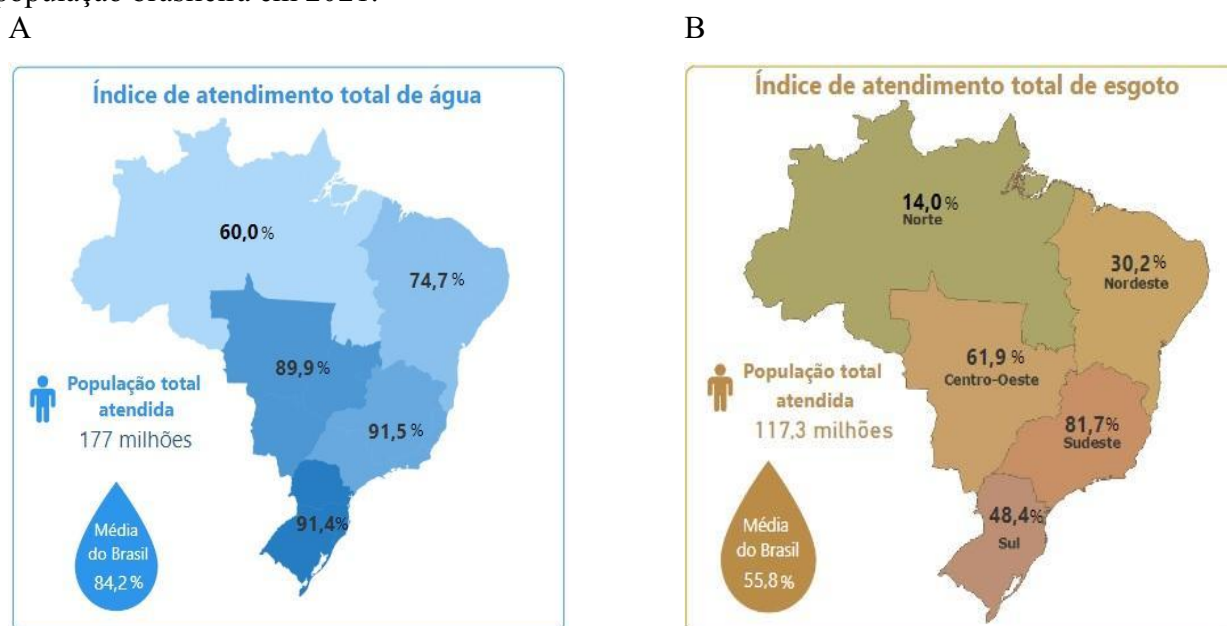
Infelizmente no Brasil esse cenário não é nada diferente. Muitos brasileiros ainda convivem com a dura realidade da falta ao acesso à água potável ou com acesso a serviços precários que não atendem as necessidades básicas de um ser humano (COSTA; MELO, 2021). Mesmo com tantos avanços conquistados na área de saneamento básico, especialmente no desenvolvimento de técnicas de tratamento de água, ainda restam vários obstáculos para se ter um balanço adequado entre as necessidades da população (GRASSI, 2001).

A respeito disso, no dia 16 de julho de 2020, o então Presidente da República Jair Messias Bolsonaro sancionou a Lei nº 14.026/2020, também conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico no país, e que vem alterar as leis já aplicáveis anteriormente ao tema e, desse modo, estabelecendo novas metas. Aliado a isso, vem apresentar a ousada proposta de universalizar o saneamento básico em todo o território nacional até 31 de dezembro de 2033. O objetivo dessa nova lei é ampliar o acesso da população brasileira à água tratada e

ao esgotamento sanitário. Pois até então a água tratada e o esgoto sanitário são medidas de saneamento básico que tem distribuição desigual no Brasil (LEITE, 2021).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), disponibiliza informações sobre a distribuição de água e esgotamento sanitário nas regiões brasileiras, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Acesso ao atendimento de água (A) e acesso a esgotamento sanitário (B) pela população brasileira em 2021.



Fonte: SNIS (2022).

Os dados do SNIS (2021), relatam que o Brasil possui uma população de 177 milhões de brasileiros atendidos com o abastecimento de água, totalizando uma média de 84,2 %. Além disso, há uma diferença entre as regiões do país, como as regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste com percentuais significativamente elevados aos das regiões Norte e Nordeste. A mesma desigualdade regional ocorre no setor do esgotamento sanitário onde a população total atendida é de 117,3 milhões, ou seja, uma média de 55,8% no Brasil.

Diante disso, ter saneamento básico é importante para a qualidade de vida das pessoas e desenvolvimento de um país. Sobretudo na saúde infantil, uma vez que o contato com esgoto e o consumo de água sem tratamento estão ligadas às altas taxas de mortalidade infantil, tendo como principais causas doenças de veiculação hídrica tais como parasitoses, diarreias, febre tifoide e leptospirose. Uma comunidade com saneamento básico possibilita melhorias na educação, na expansão do turismo, na valorização dos imóveis, na renda do trabalhador, na

despoluição dos rios e preservação dos recursos hídricos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022). Na Tabela 1 mostra a situação do saneamento de uma localidade.

Tabela 1 - Comparação por localidade do saneamento em relação à saúde e renda da população.

Região	Saneamento			
	Número de internações por doenças de veiculação hídrica	Número de óbitos por doenças de veiculação hídrica	Renda das pessoas com saneamento (R\$/mês)	Renda das pessoas sem saneamento (R\$/mês)
Norte	25.026	163	3.266,37	656,78
Nordeste	59.002	583	2.310,19	395,66
Sudeste	20.813	397	2.818,09	732,71
Sul	12.719	222	3.394,59	830,62
Centro-oeste	11.352	128	3.908,82	885,31

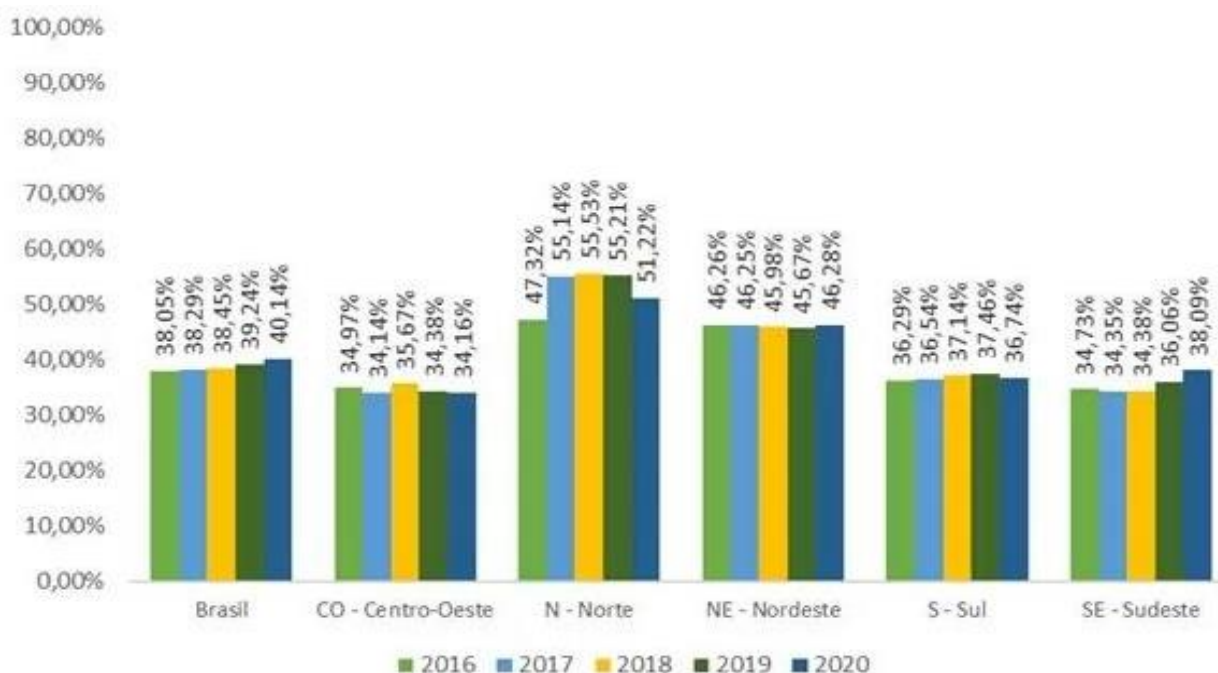
Fonte: Adaptado do Instituto Trata Brasil (2022).

Na cidade de Mossoró/RN, no ano de 2021 houve 16 internações totais por doenças de veiculação hídrica e um óbito por doenças de veiculação também hídrica, relata o Instituto Trata Brasil (2022).

Portanto, quando se fala em universalização do acesso aos serviços de saneamento, é importante focar também na redução do déficit entre as regiões e os municípios, direcionando os recursos para alcançar a população mais vulnerável (LEITE, 2021).

Um outro problema que envolve também o saneamento básico são as perdas de água potável. Dados mostram que logo após a região Norte, o Nordeste apresenta o segundo pior índice de perdas nos sistemas de distribuição do país. A região que abriga mais de 57 milhões de pessoas e desperdiça 46,28% da água potável, isto é, todo esse volume não chega de forma oficial nas residências da população nordestina. Os motivos dessas perdas podem ser diversos: ligações clandestinas, erros de medição, ligações não cadastradas e até mesmo vazamentos. Essas ligações ilegais podem gerar contaminação da água distribuída. Além do mais, a falta desses serviços básicos acaba gerando ambientes propícios para a proliferação de doenças e aumento da desigualdade social Instituto Trata Brasil (2022). A Figura 5 representa as porcentagens das perdas de água para cada região do Brasil.

Figura 5 - Índice de perdas na distribuição de 2016 a 2020 por regiões.



Fonte: Instituto Trata Brasil (2022).

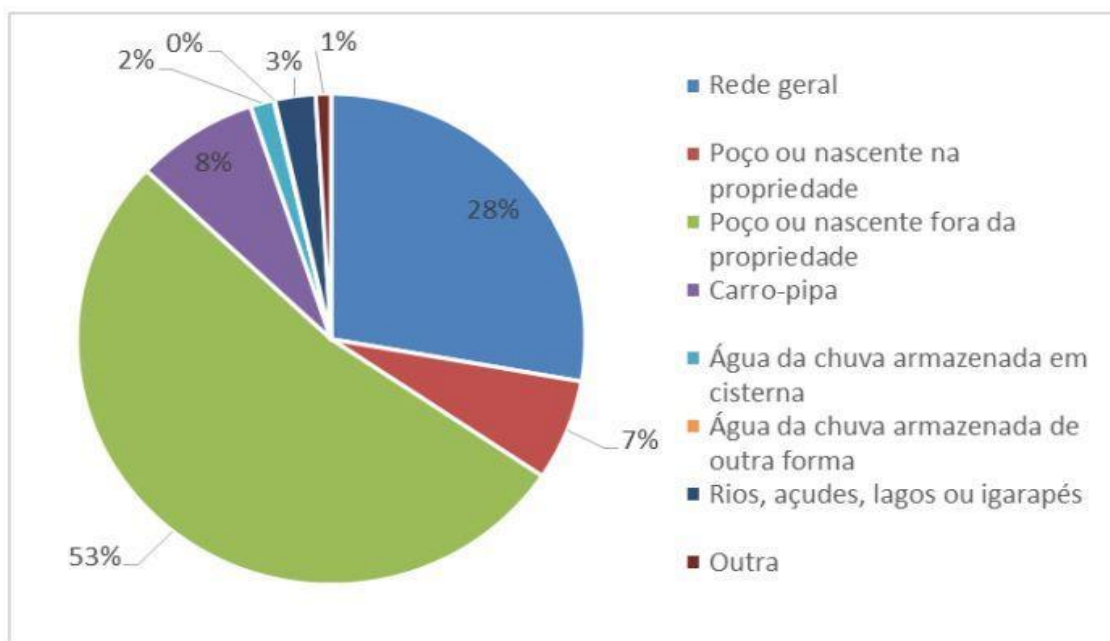
Observa-se, ao longo dos anos, que não houve esboço de evolução e melhoria no indicador. A redução e controle do nível de perdas de água nessa região poderia atender a essa população que não tem água nem ao menos para lavar as mãos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022).

Para Oliveira (2015) é de grande importância controlar essas perdas de água para que sejam cumpridas as metas estabelecidas pelo Marco Legal até 2033. Pois as incertezas com relação aos ciclos de chuvas e aumento das temperaturas nessas regiões conseguem tornar o problema ainda mais evidente.

2.4 Sistemas de abastecimento de água da zona rural do município de Mossoró/RN

O município de Mossoró conta com cerca de 170 localidades rurais e uma população rural de 22.605 pessoas (MOSSORÓ, 2019). Essas possuem diversas formas de abastecimento como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Formas de abastecimento na área rural do município de Mossoró.



Fonte: Mossoró (2019).

A área rural desse município compreende diversas comunidades descritas elencadas no Plano de Mobilização Social. De um modo geral, essas áreas não dispõem de sistemas de drenagem, pois se trata de regiões dispersas com vias não pavimentadas, sendo assim, não são todas as comunidades que possuem algum sistema de abastecimento, algumas delas dependem dos sistemas existentes em comunidades vizinhas (MOSSORÓ, 2019).

Existem comunidades que mesmo tendo poço, o sistema de abastecimento não consegue chegar às moradias de toda a população, seja por consequência do relevo do terreno que muitas vezes dificulta a chegada da água até as residências, seja por falta de dessalinizadores para tratar a água ou até mesmo por falta de poços perfurado na comunidade. Sendo assim, essas famílias que não têm acesso a água encanada dependem do abastecimento que ocorre através dos carros-pipa (MOSSORÓ, 2019).

A prefeitura municipal de Mossoró/RN divulgou no ano de 2019 o atual cenário e seus objetivos em relação ao abastecimento hídrico na cidade, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Cenários, objetivos e metas dos serviços de Abastecimento de Água da Zona Rural do município de Mossoró.

Cenário atual	Objetivo	Meta	Cenário futuro				Prioridade
			Prazo/quantificação das metas (%)				
			Imediato	Curto	Médio	Longo	
Abastecimento de água deficitário na zona rural, com insuficiência no fornecimento de água, instalações precárias, bem como, inexistência de tratamento na água a ser consumida	Promover a universalização e garantir a qualidade da prestação dos serviços de abastecimento de água na zona rural	Universalização do serviço de abastecimento de água	82,45	87,61	91,74	100	1
Ausência de cobrança pela prestação de serviço de abastecimento de água nas diversas localidades rurais do município	Promover a regularização da prestação do serviço de abastecimento de água	Sustentabilidade do sistema de abastecimento de água da zona rural	87,61	40	60	100	1

Fonte: Adaptado de Mossoró (2019).

O município de Mossoró no Rio Grande do Norte, conta com dois bicos de poços (cada um contendo duas polegadas) oferecidos pela empresa CAERN, Companhia de Água e Esgotos do Rio Grande do Norte para a distribuição de água para as comunidades da zona rural de Mossoró, comunidades essas carente de saneamento básico. Parte dessas comunidades não tem poço e são abastecidas por carros pipas, operação realizada pela Secretaria de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEADRU) os poços são localizados no Urbano poços da CAERN.

No momento a SEADRU conta com oito carros pipas, para fazer a distribuição dessa água fazendo quatro abastecimento diário cada carro. A secretaria atende as necessidades de das famílias cadastradas, além de atender a demanda dos pontos de defesas. Lembrando que das 170 comunidades existentes não são todos os moradores que necessitam desse tipo de abastecimento (MOSSORÓ, 2022).

De acordo com os relatos da Mossoró (2022), existem determinados meses do ano em que a demanda por entrega de água aumenta, e isso está relacionado com os meses de estiagem na região, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Distribuição de água no ano de 2022 nas comunidades rurais situadas nas proximidades de Mossoró-RN.



Fonte: Adaptado às informações da SEADRU (2023).

As tecnologias de captação e armazenamento de água da chuva tem melhorado a vida da população que vive nas comunidades rurais no semiárido do Brasil. De acordo com o Decreto Nº 9.606 de 10 de dezembro de 2018, é competência do Ministério do Desenvolvimento Social, a execução do Programa Cisterna, onde seu objetivo é promover o acesso à água para consumo humano, consumo animal e para a produção de alimentos, essa tecnologia está destinada às famílias rurais de baixa renda e equipamentos públicos rurais atingidos pela seca ou pela falta regular de água (BRASIL, 2018).

Porém, é comum no meio rural as cisternas serem também utilizadas como reservatórios de água trazida por carros-pipa, o que pode comprometer a qualidade da água armazenada. É importante salientar que a água da chuva não dura para todo o período da estiagem. É necessário considerar que algumas famílias estão utilizando água da cisterna para outras finalidades, como beber, cozinhar e escovar os dentes (SILVA et al., 2017).

O fato dessa água está armazenada em tanque de água pluvial significa que podem existir fontes de contaminação potencial, através das rachaduras formadas na estrutura física da obra, difícil limpeza e manejo e pelo fato desse local de armazenamento estar localizado fora da residência, muitas vezes sendo local propício de contaminação por animais e insetos. A água armazenada por um longo período de tempo pode causar problemas em sua qualidade, além do crescimento de algas e larvas de mosquito, fugindo assim, dos padrões de potabilidade da água (NASCIMENTO JÚNIOR, 2020).

Segundo a Defesa Civil Municipal, a zona rural de Mossoró compreende quase 90% do território do município. Em algumas regiões, os moradores não têm acesso à água encanada ou poço artesiano, dependendo exclusivamente do carro-pipa para aquisição de água potável ou da água da chuva (MOSSORÓ, 2019), dos 18 poços ativos na zona urbana da cidade dois deles fazem abastecimento de água em carro pipa nas comunidades rurais do município.

Existem cerca de 50 (cinquenta) dessalinizadores distribuídos entre as diversas localidades rurais do município, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Localidades contempladas com sistemas de dessalinização.

Localidades com dessalinizadores		
Alagoinha	Oiticica	PA Vinght Rosado
Arisco I	Olho D'Água Velho	Passagem do Rio
Arisco II	PA Barreira Vermelha	Pau Branco
Arisco III	PA Boa Fé	Pau Darco
Baixa do Juazeiro	PA Cabelo de Negro	Picada I
Bom Destino	PA Fazenda Nova	Picada II
Cajazeiras	PA Jurema	Puxa Boi
Camurupim I	PA Macanaú	Rancho da Caça
Chafariz	PA Oziel Alves	Santana
Coqueiro I	PA Recreio	Santo Antônio
Coqueiro II	PA Santa Elza	São João da Várzea
Córrego Mossoró I	PA Santa Rita de Cássia	São Joaquim
Córrego Mossoró II	PA São Cristóvão	São José
Cristais	PA São José I	Senegal
Ema	PA São José II	Serra Mossoró
Espinheirinho	PA São Romão	Taboleiro Alto
Lajedo	PA Solidão	

Fonte: Adaptada de Mossoró (2019).

2.5 Importância e parâmetros e padrões para a potabilidade da água

Um dos principais desafios mundiais nos dias atuais é o atendimento à demanda por água de boa qualidade, isso porque a água é um recurso fundamental para a existência da vida. Mas infelizmente muitas localidades ainda não tem acesso à água potável (GRASSI, 2001). Sendo assim, ainda é muito comum mortes causadas por doenças relacionadas à falta de água potável, relatam (COSTA; MELO, 2021).

A água utilizada pela população mundial muitas vezes é descartada para o corpo receptor mais próximo, sem que passe por qualquer tipo de tratamento, causando a poluição das águas que é o principal fruto de um conjunto de atividades humanas. E os poluentes alcançam águas superficiais e subterrâneas de formas bastante diversas (GRASSI, 2001).

Os primeiros relatos sobre as doenças e o consumo de água poluída ocorreram na metade do século passado em Londres, na Inglaterra, através da ocorrência de uma epidemia de cólera. Sabe-se hoje que a água é um dos principais vetores na transmissão de doenças. Cólera e tifo, que são transmitidas pela água, mataram milhões de pessoas no passado e são ainda uma das principais causas de doenças. No entanto, estas doenças não representam mais a mesma ameaça que já representaram no passado; isso ocorreu devido ao reconhecimento que a contaminação dos reservatórios de águas destinadas ao abastecimento público, especialmente por resíduos humanos, era a principal fonte de infecção; a partir de então não foi difícil reconhecer que muitas doenças poderiam ser eliminadas através de um tratamento mais efetivo da água, assim como de uma melhor disposição para os rejeitos (GRASSI, 2001).

O acesso à água tratada é necessário para a garantia da existência humana com dignidade, razão pela qual deve ser reconhecido como um direito que precisa estar amparado pela ordem jurídica (COSTA; MELO, 2021). Pois, estudos comprovam a relação direta entre a qualidade da água consumida e a saúde das pessoas, sendo assim, é essencial a atenção na regulação desse assunto, com o objetivo que sejam adotadas as medidas possíveis e necessárias para garantir a melhor água possível a todos. Recentemente o cuidado com a água consumida vem ganhando mais atenção, uma vez que a forma de vida em que vive a sociedade exige a utilização de várias substâncias no dia a dia que posteriormente serão descartadas na natureza, comprometendo a qualidade dos reservatórios (OLIVEIRA et al., 2022).

Desde 1977, no Brasil, o estabelecimento das normas e do padrão de potabilidade de água a serem seguidos para a minimização dos riscos à saúde pública é de responsabilidade do Ministério da Saúde. Após publicação da primeira portaria de potabilidade (PRT BSB n.º 56/1977), foram realizadas cinco atualizações desta norma, sendo a última publicada em maio de 2021 – PRT GM/MS n.º 888/2021. Diante da notória importância do atendimento aos padrões de potabilidade e demais critérios normativos para a segurança da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público (SOARES; FRANCO; ASSIS, 2021).

A Portaria GM/MS N.º 888, de 4 de maio de 2021, altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Essa portaria diz em seu primeiro capítulo que toda água para consumo humano tem que obedecer aos padrões do texto, incluindo os carros pipas. Uma vez que os carros pipas são ferramentas de transportes que auxiliam ao abastecimento hídrico para as populações, sejam estas residentes em áreas rurais ou nas zonas urbanas (SILVA, 2022).

De acordo com a nova Portaria no Art 5º a água para consumo humano deve ser potável, ou seja, não ofereça riscos à saúde da população e que atenda ao padrão de potabilidade, pronta para consumo, preparação de alimentos e a higiene das pessoas, sem restrição quanto a sua origem (BRASIL, 2021).

Na Portaria nº 5 de 2017 (antiga Portaria 2.914/2011) em seu Art. 39 e parágrafo 1º era recomendado que no sistema de distribuição o parâmetro de pH da água fosse mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Agora na nova Portaria nº 888 /2021 a faixa de pH encontra-se subentendida no anexo 3. Neste anexo o valor de desinfecção versus o valor de pH é de 6,0 a 9,0 que por interpretação passa a ser a faixa de pH aceitável. Não mudou o critério de precisão para os resultados e os valores da faixa continuam com uma casa decimal, não sendo necessário alterações nos equipamentos utilizados na medição (BRASIL, 2017; BRASIL, 2021).

Os coliformes totais correspondem às bactérias presentes nos seres humanos e ambientes naturais. E a *Escherichia coli* são bactérias que vivem exclusivamente no trato intestinal de animais de sangue quente. Sua presença indica contaminação fecal e a possibilidade de haver patógenos ambos não permitidos (SILVA, 2022). Do ponto de vista da norma que estabelece os padrões de potabilidade de água para consumo humano (Portaria MS, 888/2021), nenhuma água deve ser consumida sem que atenda a esses referidos padrões, encontrados no anexo 1 da portaria nº 888 /2021, referidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Padrão bacteriológico da água para consumo humano.

Formas de abastecimento	Parâmetro	VMP
SAI	<i>Escherichia coli</i>	Ausência em 100 mL
SAA - Na saída do tratamento	Coliformes totais	Ausência em 100 mL
SAC - Na saída do tratamento	Coliformes totais	Ausência em 100 mL

Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

Nota: SAI - Solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano; SAA - sistema de abastecimento de água para consumo humano; e SAC - solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano.

Todas as substâncias, naturais como as causadas pelas ações humanas, têm potencial para causar danos tanto à saúde humana quanto ao ambiente, muitas dessas substâncias têm efeitos tóxicos. Existem riscos associados à exposição durante os processos de produção, armazenamento, manuseio, transporte, uso e disposição, bem como de derramamento acidental ou descarte ilegal (OMS, 2000). Sendo assim, a Portaria nº 888 de 2021, disponibiliza em seu

anexo 9 da Portaria n° 888 /2021, como mostra a Tabela 5, padrão de potabilidade para as substâncias químicas.

Tabela 5 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde.

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP
Antimônio	7440-36-0	mg/L	0,006
Arsênio	7440-38-2	mg/L	0,01
Bário	7440-39-3	mg/L	0,7
Cádmio	7440-43-9	mg/L	0,003
Chumbo	7439-92-1	mg/L	0,01
Cobre	7440-50-8	mg/L	2
Cromo	7440-47-3	mg/L	0,05
Fluoreto	7782-41-4	mg/L	1,5
Mercurio total	7439-97-6	mg/L	0,001
Níquel	7440-02-0	mg/L	0,07
Nitrato (como N)	14797-55-8	mg/L	10
Nitrato (como N)	14797-65-0	mg/L	1
Selênio	7782-49-2	mg/L	0,04
Urânio	7440-61-1	mg/L	0,03
Antimônio	7440-36-0	mg/L	0,006

Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

Padrão organoléptico é aquele que influencia a visão, paladar ou olfato humano, que não necessariamente causa danos ao ser humano, mas pelo fato de mexer com os sentidos, tende-se a serem recusados de uma amostra de água (SILVA, 2022). Na Tabela 6 mostra o anexo 11 da portaria n° 888 /2021 que relata os valores máximos permitido pelos parâmetros que estão relacionados aos organoléptico.

Tabela 6 - Padrão organoléptico de potabilidade.

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como N)	7664-41-7	mg/L	1,2
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,001
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,0003
Dureza total		mg/L	300

Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor		intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,02
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos t		mg/L	500
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,05
Turbidez		uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5

Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A pesquisa abrangeu dois poços localizados na zona rural de Mossoró e três comunidades rurais situadas nas proximidades desta cidade. As comunidades escolhidas foram: Frei Damião, São João da Várzea e Passagem de Pedra.

Os poços profundos foram identificados como Poço profundo P-14 e ao todo possui uma vazão de 58,9 L/s, porém o bico que abastece a população possui uma vazão igual a 8,83 L/s, e está localizado na Avenida Rio Branco que apresenta as coordenadas geográficas 5° 10' 2.81" S e 37° 20' 37.27" O. Como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Imagem da localização da área do Poço PT-14 em Mossoró-RN.



Fonte: Google (2023).

O outro poço profundo P-26 possui uma vazão total de 41,7 L/s, e a vazão fornecida igual a 6,4 L/s está localizado na avenida Francisco Mota com apresentação das coordenadas

geográficas 5° 11' 40.91" S e 37° 18' 46.91" O. Ambos os poços estão localizados na zona urbana de Mossoró. A Figura 9 mostram a localização do poço profundo P-26.

Figura 9 - Imagem da localização da área do Poço PT-26 em Mossoró-RN.



Fonte: Google (2023).

3.2 Coletas das amostras

As águas utilizadas nas análises foram coletadas nos dois poços profundos descritos acima momento antes de serem entregues nas comunidades, pelo carro pipa, também foram coletadas amostras em três cisternas das comunidades rurais. As coletas foram realizadas no período chuvoso da região de Mossoró-RN, ocorrendo a mistura da água de chuva com a água retirada do poço. As amostras foram identificadas como P-14, P-26 (referentes aos poços) e C01 (Passagem de Pedra), C02 (Frei Damião) e C03 (São João da Várzea). Lembrando que em duas das três residências visitadas nas cisternas houve a mistura dessas águas. Na Figura 10 se ilustra o local da coleta de água e o abastecimento através do carro pipa.

Figura 10 - Imagem da coleta da amostra de água no poço (A), coleta da amostra na cisterna (B), cisterna utilizada para armazenar água subterrânea e água da chuva (C), armazenamento das amostras (D).

A



B



C



D



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Para avaliar a qualidade físico-química das amostras de água, foram utilizados como recipientes de coleta, garrafas plásticas tipo PET de 1000 mL. A coleta da água foi realizada diretamente nos poços profundos após o escoamento da água por 60 segundos. Para avaliar as características microbiológicas da água, foram utilizados coletores descartáveis de polietileno

esterilizados de 70 mL. Esses frascos foram acondicionados em uma caixa térmica, com gelo, para a preservação da amostra a 4°C.

3.3 Descrições das análises microbiológicas

As amostras coletadas foram levadas para o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal, localizado no campus Oeste da UFERSA Mossoró-RN como apresentado na Figura 11.

Figura 11: Imagem da localização da área do Complexo Integrado de Laboratório I localizado no campus Oeste da UFERSA Mossoró/RN (A). Imagem da sala do laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal (B).

A



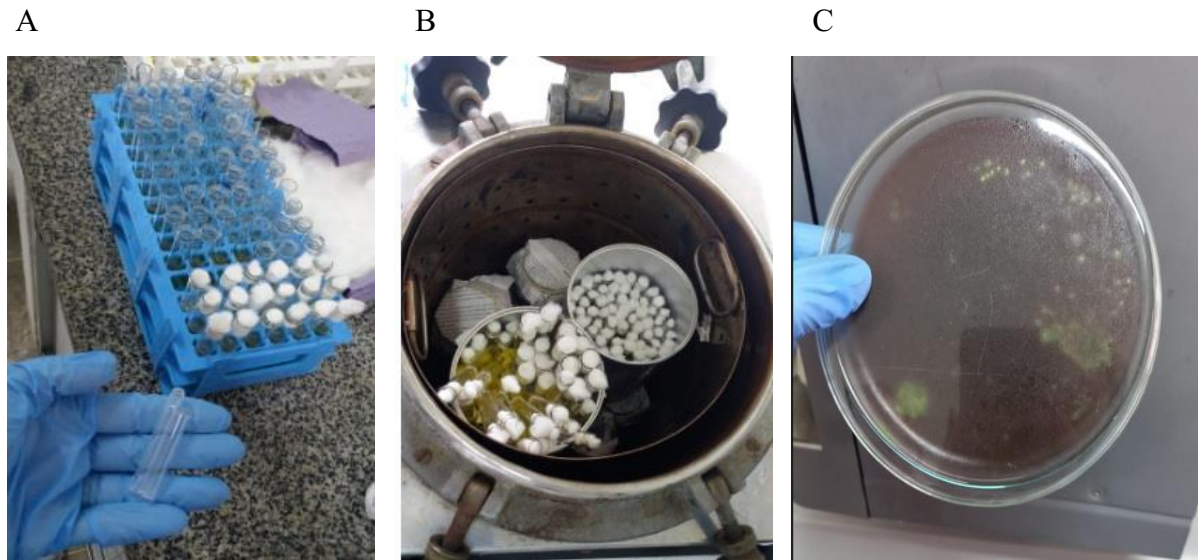
B



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Nas amostras foram quantificados os níveis populacionais de coliformes totais (CT) e termotolerantes (CT_E) através do método de tubos múltiplos, conforme as recomendações do standard methods for the examination of water and wastewater (BAIRD; EATON; RICE, 2017). Na Figura 12 mostra o método de tubos múltiplos usado na análise das amostras de água.

Figura 12: Tubos de ensaios contendo, no fundo, um tubo invertido (tubo Durhan) (A), esterilização de material em autoclave (B) e placas positivas para *Escherichia coli* (C).



Fonte: Acervo pessoal (2023).

3.4 Análises físico-químicas da água

As amostras coletadas em campo ficaram armazenadas sob refrigeração por cinco dias no laboratório. Em seguida, essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA, com a finalidade de se realizar análises físico-químicas, adaptando as recomendações da EMBRAPA (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011), e do standard methods for the examination of water and wastewater (BAIRD; EATON; RICE, 2017).

- Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica (CE)

Procedimento:

- Em um copo descartável, foi colocado, aproximadamente, 25 ml da água para analisar;
- Em seguida, foi feita a leitura no pHmetro e anotado o valor; e
- Levou-se a mesma amostra para o condutivímetro e anotou-se o valor da CE em dS m^{-1} .

- Determinação do sódio (Na^+) e potássio (K^+)

Procedimento:

- Ajustou-se o fotômetro de chama com a solução padrão de Na e K, efetuando a leitura das soluções padrão que estimaram a curva;

- Retirou-se 25 ml da amostra de água, sendo esta alocada em copo descartável;
- Em seguida, foi levada ao fotômetro de chama;
- Efetuaram-se as leituras na escala do aparelho;
- Se a leitura da amostra fosse superior ao último ponto da curva, seria necessário realizar uma nova diluição. Essa diluição poderia ser efetuada retirando-se 1 mL da amostra e Adicionando 9 mL de água deionizada.

● Determinação do cálcio (Ca^{2+})

Procedimento

- Adicionou-se 25 ml da amostra em um Erlenmeyer de 125 ml;
- Adicionou-se à amostra 3 ml da solução de KOH a 10%;
- Foi colocada uma pitada de indicador Calcon (cor rosa);
- Realizou-se a titulação com a solução EDTA até o ponto de viragem de rosa para azul;
- Anotou-se o volume gasto.

● Determinação do cálcio + magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)

Procedimento:

- Adicionou-se 25 ml da amostra em um Erlenmeyer de 125 ml;
- Adicionou-se à amostra 4 ml da solução tampão (hidróxido de amônio + cloreto de amônio);
- Foi colocada uma pitada do indicador Negro de Ericromo;
- Realizou-se a titulação com a solução EDTA de 0,0125 M, até o ponto de viragem de rosa para azul;
- Anotou-se o volume gasto.

● Determinação do magnésio (Mg^{2+})

Procedimento

- Seu valor foi determinado pela diferença entre os valores de ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) e Ca^{2+}

● Determinação do cloreto (Cl^-)

Procedimento

- Em um Erlenmeyer colocou-se 25 ml da amostra de água em análise;
- Adicionou-se à amostra 3 gotas de cromato de potássio;
- Em seguida, titulou-se com nitrato de prata (AgNO_3) até obtenção do ponto de viragem (coloração avermelhada, cor de telha).

● Determinação do carbonato (CO_3^{2-})

Procedimento

- Em um Erlenmeyer colocou-se 50 ml da amostra de água em análise;
- Adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína;
- Se ficasse rosa, a amostra era titulada com solução de H_2SO_4 à 0,025 M, até a cor inicial (incolor);
- Em seguida, anotava-se o valor, sendo este multiplicado por 2;
- Caso não mudasse de cor, implicava na ausência de CO_3^{2-}

● Determinação do bicarbonato (HCO_3^-).

Procedimento

- Na mesma amostra que foi realizada a leitura do CO_3^{2-} , adicionou-se 3 gotas de alaranjado de metila;
- Titulou-se com H_2SO_4 à 0,025 M;
- A mudança da coloração ocorreu do amarelo claro para o amarelo cor de cenoura (alaranjado).

● Determinação da razão de adsorção de sódio (RAS)

- Determinada a partir das concentrações de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , conforme descrito na Equação 1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad 1$$

Em que:

RAS - Razão de adsorção de sódio, $(\text{mmolc L}^{-1})^{0,5}$;

Na^+ - Concentração de sódio na amostra, mmolc L^{-1} ;

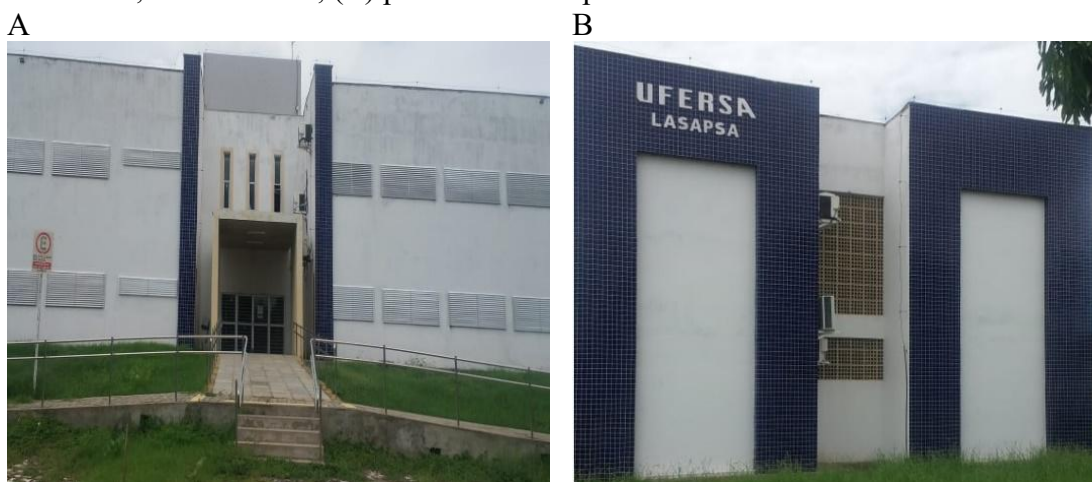
Ca^{2+} - Concentração de cálcio na amostra, mmolc L^{-1} ;

Mg^{2+} - Concentração de magnésio na amostra, mmolc L^{-1} .

3.5 Análise física da água

A análise física da água foi realizada no Laboratório de Qualidade Ambiental do Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta do Semi-Árido (LASAPSA) localizado no campus Leste da UFERSA em Mossoró/RN. As amostras coletadas em campo ficaram armazenadas sob refrigeração até a realização das análises físicas: turbidez, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), adaptando as recomendações do standard methods for the examination of water and wastewater (BAIRD; EATON; RICE, 2017). Na Figura 13 está apresentado o prédio onde fica localizado o laboratório.

Figura 13 - Entrada do prédio onde fica localizado o laboratório do LASAPSA (A) no campus Leste da UFERSA, Mossoró/RN, (B) parte lateral do prédio.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

● Determinação da Turbidez

Procedimento

- Nesse processo foi necessário o uso de um instrumento chamado turbidímetro capaz de fazer a medição da turbidez de forma precisa. Foi necessário fazer a calibração do aparelho, utilizando cinco amostras contendo uma faixa de limites que variam de 0,1 UNT para o valor mínimo e 1000 UNT para o valor máximo de turbidez em uma amostra de água.

● Determinação dos sólidos totais (ST)

Procedimento

- Foi colocado um cadinho limpo de 20 mL na mufla a 550°C por 2h.
- O cadinho foi pesado em balança analítica e teve seu valor anotado em g (P1), após ter passado pelo resfriamento em dessecador.
- O cadinho pesado recebeu a amostra de 20 mL de água quantificada em proveta.

- O cadinho foi levado para estufa à 70°C, onde permaneceu sob aquecimento até a estabilidade da massa.
- Em seguida, aguardou-se o cadinho esfriar no dessecador por 30 minutos.
- Novamente o cadinho foi pesado agora junto com o resíduo e seu resultado em g (P2).
- O valor de ST foi obtido empregando-se a Equação 2.

$$ST = \frac{(P2 - P1)}{V_a} \cdot 1000000 \quad 2$$

Em que:

P2 – Massa do cadinho mais os sólidos totais presentes na amostra, g;

P1 - Massa do cadinho, g;

V_a – Volume da amostra.

● Determinação dos sólidos suspensos totais (SST)

Procedimento

- Foi colocado uma membrana de fibra de vidro na estufa a 70°C por 1h.
- A membrana foi pesada e teve o valor anotado em g (P1), após ter passado pelo esfriamento no dessecador.
- A membrana foi ajustada com pinça metálica no filtro Buchner acoplando a um frasco kitassato por meio de uma alonga de borracha.
- Foi filtrado um volume de amostra de 50ml com o auxílio de uma bomba a vácuo.
- A membrana com os sólidos suspensos foi levada para estufa a 70°C.
- Em seguida, aguardou-se a membrana esfriar no dessecador por 30 minutos.
- Novamente a membrana foi pesada agora junto com o resíduo e seu resultado em g (P2) foi obtido.
- O valor de SST foi obtido como uso da Equação 3.

$$SST = \frac{(P2 - P1)}{V_a} \cdot 1000000 \quad 3$$

Em que:

P2 – Massa filtro mais sólidos suspensos presentes na amostra, g;

P1 - Massa filtro, g;

V_a – Volume da amostra.

- Determinação dos sólidos dissolvidos totais (SDT)

Procedimento

- Os valores de SDT foram obtidos pela diferença entre os valores de ST e SST, respectivamente.

3.6 Análise de metais e metais pesados

As amostras para análises de metais e metais pesados foram preservadas com ácido nítrico a $\text{pH} = 2$ até a realização das análises em frascos plásticos de 70 mL esterilizados. A quantificação de As, Al, Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd e Pb foi realizada no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa-MG, utilizando-se o método de adsorção atômica de plasma.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros físico-químicas e microbiológicas das amostras de água

Na Tabela 7 estão apresentados os valores das características físico-químicas e microbiológicas das amostras de água que são utilizadas pelas comunidades rurais de Mossoró/RN.

Tabela 7 - Características físico-químicas e microbiológicas das águas dos poços profundos e das cisternas das comunidades rurais de Mossoró/RN, assim como os padrões estabelecidos pela portaria da potabilidade da água (Portaria GM/MS N°888/2021).

Parâmetro	Unidades	Pontos Amostrais					Padrões
		P14	P26	C01	C02	C03	
pH		7,71	8,06	7,85	8,17	8,13	6,0-9,0
CE	dS/m	0,45	0,47	0,42	0,10	0,33	—
Mg ²⁺	(mmol _c /L)	1,15	1,45	0,71	1,26	1,48	—
Ca ²⁺	(mmol _c /L)	2,02	0,69	1,71	0,69	0,56	—
CO ₃ ²⁻	(mmol _c /L)	0,00	0,50	0,40	0,10	0,80	—
HCO ₃ ⁻	(mmol _c /L)	3,80	3,10	3,20	1,30	2,40	—
Cl ⁻	mg/L	85,08	106,35	92,17	49,63	70,90	250
Na ⁺	mg/L	48,3	105,8	67,39	5,06	69,46	200
K ⁺	mg/L	0,44	0,23	0,36	0,13	0,20	—
RAS	(mmol _c /L) ^{0,5}	1,70	4,40	2,70	0,20	3,00	—
DUREZA	mg/L	158,5	107	121	97,5	102	300
Fe	mg/L	0,049	0,060	0,279	0,213	0,025	0,3
Mn	mg/L	0	0	0,021	0,011	0	0,1
AS	mg/L	0,002	0	0,002	0	0	0,01
Cu	mg/L	0,017	0,011	0,018	0,006	0,003	2
Pb	mg/L	0,073	0,070	0,101	0,044	0,133	0,01
Al	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,2
Ni	mg/L	0,082	0,062	0,036	0,128	0,058	0,07
Zn	mg/L	0,005	0,004	0,034	0,050	0,007	5
Cd	mg/L	0,023	0,025	0,037	0,040	0,060	0,003

Cr	mg/L	0,002	0,000	0,000	0,000	0,008	0,05
Turbidez	UNT	0,21	0,21	1,92	0,76	0,32	5,0
SDT	mg/L	254	267	274	122	120	500
SST	mg/L	0	4	0	6	120	
CT	NMP L	< 0,3	< 0,3	4,3	2,8	9,3	Ausência
CT _E	NMP L	< 0,3	< 0,3	4,3	0,72	9,3	Ausência

Fonte: Acervo do autor (2023).

4.1.1 Potencial hidrogeniônico PH

O pH tem grande importância durante o tratamento da água, tendo em vista que ele está relacionado com a eficiência dos processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção. Além de ser importante o seu controle após o tratamento, para garantir que não ocorra corrosão ocasionada pelo pH baixo e formação de incrustações possibilitadas pelo pH elevado nas tubulações (von SPERLING, 2014).

No caso da água para consumo humano, de acordo com a nova Portaria GM/MS nº 888/2021 a faixa de pH encontra-se subentendida no anexo 6 e no referido anexo o valor de desinfecção versus o valor de pH está compreendido entre 6,0 a 9,0 que por interpretação passa a ser a faixa de pH aceitável. independente da temperatura dessa água.

Analisando a Tabela 7, verifica-se que a água utilizada pela população da zona rural do município de Mossoró/RN, possui pH dentro dos padrões de potabilidade que é um parâmetro indicativo do grau de acidez ou alcalinidade do meio. As amostras possuem valor mínimo de pH (7,71) em P-14 e máximo pH (8,17) em C02. De acordo com Matos (2007), o pH das águas naturais está associado ao material geológico dominante na região.

4.1.2 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica é a capacidade do meio em transmitir corrente elétrica, isso ocorre devido à presença de ânions e cátions em solução, pois o aumento da concentração iônica na solução proporciona aumento na capacidade de condução de corrente elétrica. A água contém sais em suas condições naturais que variam conforme o material geológico onde a água drena e as condições climáticas locais. A salinidade e, por consequência, a CE das águas e podem ser alteradas pelo homem ou efeitos naturais (MATOS, 2007).

Tratando-se de condutividade elétrica que é uma característica importante a mananciais subterrâneos a Organização Mundial da Saúde - OMS não apresenta um valor guia para esse

parâmetro, pois a CE não oferece risco a saúde humana, no entanto CE podem indicar características corrosivas da água por estar associada ao teor de salinidade (COSTA et al., 2021).

Porém o Decreto Lei nº 152 de 07 de dezembro de 2017 define como valor paramétrico para a condutividade, o valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 2,5 dS/m a 20°C. Sendo assim, nas amostras que foram analisadas, cujo valor (Tabela 7) se encaixa dentro deste parâmetro estabelecido pelo Decreto Lei nº 152/2017 (COSTA et al., 2021).

4.1.3 Cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})

Von Sperling (2014) relata que a dureza da água é definida pela concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentes associados à dureza são os cátions bivalentes cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Quando esses cátions se encontram supersaturados reagem com ânions na água, formando precipitados. Por isso, a importância de manter os Ca^{2+} e Mg^{2+} em equilíbrio mesmo não tendo um valor de concentração determinado pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Apesar de não existir um consenso na literatura em relação aos valores de referência desses dois parâmetros, os valores encontrados de Ca^{2+} das cinco amostras não superam os limites estabelecidos por Ayers e Westcot (1985), que é de 20 mmol/L . Já para Mg^{+2} o valor estabelecido como limite é de 5 mmol/L .

4.1.4 Carbonato (CO_3^{2-}) e Bicarbonato (HCO_3^-)

Os teores de carbonato (CO_3^{2-}) nas amostras (Tabela 7) não ultrapassaram a 1,00 mmol/L estando ausente na amostra P14, indicando apenas a presença de bicarbonatos (HCO_3^-), fato que contribui a dissolução do CO_3^{2-} para a produção de bicarbonato. Esses baixos valores ocorreram em virtude do valores referentes ao pH terem sido inferiores a 8,3. Entretanto, o valor máximo de HCO_3^- chegou a 3,80 mmol/L também na amostra P14. Esses baixos valores não tem significado sanitário para a água potável, mas em elevadas concentrações confere um gosto amargo para a água e uma determinada importância no controle do tratamento ou distribuição de água, estando relacionados com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações e até mesmo nos chuveiros das residências (RICHTER; NETTO, 1991).

4.1.5 Cloreto (Cl^-)

No que se refere ao cloreto (Cl^-), estes estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos a grandes traços de mg/L. Se encontram na forma de cloreto de sódio, cálcio e magnésio. A água do mar possui concentração bastante elevada de cloretos que está em torno de 26.000 mg/L. Concentrações altas de cloreto podem restringir o uso da água em razão do sabor que eles conferem e pelo efeito laxativo que podem provocar (BRASIL, 2013). A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece na tabela de padrão organoléptica de potabilidade o valor máximo permitido de cloreto, como sendo de 250 mg/L. De acordo com os resultados analisados na Tabela 7, esse parâmetro encontra-se dentro do estabelecido pela portaria, pois o maior valor está na amostra P26 (106.35 mg/L).

4.1.6 Sódio (Na^+)

Em relação ao sódio (Na^+) que faz parte da família dos cátions, a composição das amostras analisadas, revelam valores de Na^+ que variam entre 5,06 mg/L a 105,8 mg/L, sendo o menor valor atribuídos a amostra C02 e o maior a amostra P26 (Tabela 7). O sódio não apresenta perigo direto para a saúde do consumidor, porém, produzem efeitos organolépticos que podem impossibilitar o consumo das águas. No entanto, as amostras se encontram dentro do padrão da potabilidade da água que possui um Valor Máximo Permitido (VMP) de 200 mg/L.

4.1.7 Potássio (K^+)

O potássio foi encontrado em valores que variaram entre 0,13 e 0,44 mg/L⁻¹ (Tabela 7). O potássio é um elemento importante para o corpo humano e, juntamente com o sódio, participam de trocas intracelulares. A Portaria nº 888/2021 do MS não estabelece limites para o potássio em água de abastecimento humano. Segundo Richter e Netto (1991), na agricultura o potássio é um nutriente, benéfico e desejável. Mesmo o potássio sendo um dos elementos essenciais à nutrição humana e suas concentrações encontradas em águas subterrâneas não ofereçam perigo à saúde humana, alguns cuidados têm que ser tomados para os portadores de insuficiência renal, hipertensão e diabetes.

A CETESB (2009) relata que as concentrações de potássio em águas naturais não excedem 10 mg/L, com base nesse limite recomendado, verifica-se que as águas analisadas estão dentro do padrão esperado para esse elemento.

4.1.8 Razão de adsorção de sódio (RAS)

A RAS foi calculada com base nos elementos Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} das amostras de água. A classificação das amostras de água subterrânea da área de estudo com relação à RAS está apresentada na Tabela 7. Todas as amostras apresentaram valor inferior a 10, sendo classificadas desta forma como excelentes para a irrigação, e em relação ao uso para consumo humano, também se enquadra bem, uma vez que os valores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} se encontram todos dentro dos valores estabelecidos pela Portaria.

4.1.9 Dureza

A dureza da água refere-se à concentração de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} e Al^{3+}) em solução na água, as quais são fortemente influenciadas pela geologia e atividades antrópicas. Suas principais fontes são a dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio em rochas calcárias que frequentemente são responsáveis pela dureza da água (MATOS, 2007).

A Portaria GM/MS N°888/2021 estabelece para dureza total o teor de 300 mg/L como valor máximo permitido para água potável. Sendo assim, de acordo com o resultado das amostras analisadas (Tabela 7) o parâmetro dureza total encontra-se dentro do estabelecido pela portaria.

4.1.10 Ferro (Fe) e manganês (Mn)

Em relação ao ferro (Fe) e manganês (Mn), por apresentarem comportamento químico semelhante, podem ter efeitos na qualidade da água em conjunto. São elementos que se encontram em situações de ausência de oxigênio dissolvido, como por exemplo, em águas subterrâneas ou nas camadas mais profundas dos lagos (von SPERLING, 2014). Sendo assim, a Portaria GM/MS n° 888/2021 estabelece o valor máximo permitido de 0,3 mg/L para o ferro e de 0,1 mg/L para o manganês. Observando a Tabela 7 nota-se, que os valores das amostras das águas utilizadas pelas comunidades rurais encontram-se em conformidade com a portaria.

4.1.11 Arsênio (As), cobre (Cu) e chumbo (Pb)

São consideradas substâncias tóxicas o arsênio (As), o cobre (Cu) e o chumbo (Pb). A Portaria que relata a potabilidade da água imite um VMP para o As de 0,01 mg/L, para o Cu de 2 mg/L e para o Pb de 0,01 mg/L, diante dos resultados das cinco amostras analisadas se encontram dentro do padrão de potabilidade os valores referentes ao As e Cu.

Porém, para os valores de Pb os resultados foram: para P-14 (0,073 mg/L), P-26 (0,070 mg/L), C01-(0,101 mg/L), C02(0,044 mg/L), C03 (0,133 mg/L), ou seja, todas as cinco amostras se encontram acima do permitido por lei de acordo com a Portaria nº 888/2021.

4.1.12 Alumínio (Al) e níquel (Ni)

A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece limites para o Ni de 0,07 mg/L e para o Al de 0,2 mg/L. As cinco amostras analisadas apresentaram 0,000 mg/L para o Al, enquanto que para o Ni, duas amostras mostraram valores acima do valor máximo permitido para esse parâmetro, P-14 (0,082 mg/L) e C02 (0,128 mg/L).

Em relação à presença do Ni na água existem poucas informações sobre o assunto, existe a possibilidade que os fatores que afetam a disponibilidade dos outros metais podem, também, afetar esse e parâmetro.

4.1.13 Zinco (Zn) e cádmio (Cd)

Em relação ao Zn todas as amostras se encontram dentro do padrão estabelecido pela Portaria que trata da potabilidade para consumo humano, onde Zn possui um VMP de 5 mg/L a amostra de maior valor foi a C02 (0,050 mg/L).

Mas o Cd que possui um VMP pela portaria de 0,003 mg/L, todas as cinco amostras mostraram valores superiores a esse valor máximo.

4.1.14 Cromo (Cr)

Segundo Bertolo (2010), o excesso de Cr vem dos minerais das rochas que formam o aquífero. Apenas pequenas quantidades desse parâmetro liberado pelos minerais das rochas são suficientes para tornar a água não potável. O mesmo em grande quantidade, aumenta o custo do tratamento da água e pode ocorrer até o fechamento dos poços de abastecimento.

A nova portaria que trata da potabilidade da água determina um VMP para esse parâmetro de 0,05 mg/L. Das cinco amostras analisadas, três tiveram resultados igual a zero, as outras duas tiveram valores abaixo do valor determinado pela portaria, P-14/ (0,002 mg/L) e C03 (0,008 mg/L).

4.1.15 Turbidez

No que se refere à turbidez, a Portaria GM/MS N° 888/2021 estabelece o valor máximo permitido (VMP) de 5,0 UNT para o sistema de distribuição. Observa-se que nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o VMP. Podendo-se assim constatar que as amostras estão em conformidade com a determinação da Portaria. Uma das amostras C01 apresentou um valor superior às demais amostras, 1,92 UNT, a causa desse resultado está associada ao excesso da vegetação ao redor da cisterna no dia da coleta, causando uma aparência turva à mesma.

4.1.16 Sólidos dissolvidos totais (SDT)

Os sólidos totais dissolvidos representam o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume, tendo origem relacionada a vários processos naturais e antropogênicos. Todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, correspondem aos sólidos, que em águas naturais, origina-se, do processo de erosão natural dos solos e do intemperismo das rochas (OLIVEIRA JUNIOR; SILVA; SILVA, 2016).

Geralmente em águas subterrâneas são encontrados elevados valores para SDT, principalmente no semiárido, pois o intemperismo das rochas que constituem os aquíferos pode contribuir fortemente para a acumulação de sólidos na água (PINHEIRO, 2020).

Para o padrão de potabilidade, o valor máximo permitido para o consumo humano com relação aos sólidos totais dissolvidos (SDT) é de 500 mg L⁻¹, estabelecido pela Portaria de n° 888 de 2021 do Ministério da Saúde. O valor apresentado a essa variável na presente pesquisa mostrou que os valores encontrados nos poços de abastecimento rural e nas cisternas das comunidades em Mossoró ficaram abaixo do máximo permitido na legislação.

Para consumo humano, teores elevados deste parâmetro indicam que a água tem sabor desagradável, podendo causar problemas digestivos, principalmente nas crianças, e danifica as redes de distribuição (OLIVEIRA JUNIOR; SILVA; SILVA, 2016).

4.1.17 Coliformes totais (CT)

Von Sperling (2017) relata que a presença apenas de coliformes na água não representa perigo à saúde, mas pode indicar a presença de outros microrganismos causadores de problemas ao homem. Na água tratada, se houver a presença de CT, sugere que o tratamento foi inadequado ou ocorreu contaminação posteriormente ao tratamento. Portanto, os CT podem indicar como está a eficiência do tratamento.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece para água tratada que na saída do tratamento tenha ausência de coliformes totais em 100 mL. De acordo com os resultados das amostras, apenas duas amostras (P-14 e P-26), apresentaram ausência de coliformes totais (Tabela 7). E as amostras C01, C02 e C03 apresentaram valores de 4,3; 2,8; 9,3 NMP/mL para coliformes totais.

4.1.18 Coliforme termotolerante (CT_E)

Escherichia coli é a principal bactéria do grupo de Coliformes Termotolerantes, que é um subgrupo dos coliformes totais. O habitat primário de *Escherichia coli* é o trato intestinal de homens e animais. Desta maneira, corpos d'água com presença de *Escherichia coli*, indicam contato dessa água com esgotos domésticos ou despejos de criação de animais (von SPERLING, 2017).

A Portaria GM/MS nº 888/2021 determina que a água destinada para consumo humano deve apresentar ausência de *Escherichia coli*. De acordo com os dados da Tabela 7, as amostras P-14 e P-26 estão em conformidade com a determinação da portaria, pois apresentaram valores <0,3 e <0,3 NMP/mL. Em relação às demais amostras apresentaram a presença de *Escherichia coli*, análises relatam que C01, C02 e C03 apresentaram valores iguais a 4,3; 0,72; 9,3 NMP/mL.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas subterrâneas de um modo geral como é de se esperar, não apresentam restrições quanto às suas propriedades físicas, pelo fato de se tratar de um aquífero poroso e relativamente profundo, sendo assim, para todas as cinco amostras referentes aos parâmetros físicos estão dentro dos padrões de potabilidade de água para consumo humano.

Em relação aos parâmetros químicos mostraram restrição para o cádmio e o chumbo para todas as cinco amostras, já o níquel houve restrição em um dos poços (P-14) e em uma das amostras das cisternas (C02). Sendo necessário a realização de um estudo referente às possíveis causas desse fato ocorrer.

Todas as amostras coletadas nas cisternas apresentaram contaminação microbiológica por coliformes totais se mostraram impróprias para consumo humano, pois houve a detecção de coliformes termotolerantes. Nas cisternas que apresentaram contaminação microbiológica é necessário investigar o motivo, o motivo pode ser tanto pelo manejo inadequado, quanto pela utilização de outras fontes alternativas de água (nesse caso da água subterrânea abastecida por carro pipa e a água de chuva) para o preenchimento das mesmas.

A contaminação microbiológica da água poderá ser mitigada recomendando aos moradores das residências C01, C02 e C03 a cloração ou fervura da água antes do consumo, bem como a higienização das cisternas a cada seis meses e o descarte dos primeiros dois milímetros de chuva coletada pelo telhado da residência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Água subterrânea minimização das consequências da seca no Nordeste**. 2003. 38f. Disponível em: https://www.abas.org/imagens/publicacoes/estudos_sedezero.PDF. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Águas subterrâneas**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>. Acesso em: 20 dez. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas água: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021. 167p. Disponível em: [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021%20(2).pdf). Acesso em: 11 de fev. de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Ed. 5. Brasília/DF. 2007. 124p. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DO_ENQUADRAMENTO.pdf. Acesso em: 12 fev. 2023.

AYERS, Robert S.; WESTCOT, Dennis W. **Water quality for agriculture**. Vol. 29. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. 184p.

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017. 1504p.

BELTRÃO, B. A. et al (org). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado do Rio Grande do Norte: Diagnóstico do município de Mossoró**. Recife: CPRM, 2005. 43p. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/17028/1/rel_mossoro.pdf. Acesso em: 11 fev. 2023.

BRASIL. Decreto nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018. Regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água - Programa Cisternas. **DOU**. Brasília, 11 de dez. 2018. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/arquivo/seguranca_alimentar/cisternas_marcolegal/tecnologias_sociais/DECRETO%20N%C2%BA%209.606,%20DE%2010%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202018%20-%20Regulamenta%20o%20Programa%20Cisternas.pdf Acesso em: 01 abr 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, 151 p. 2013. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em: 01 mai. 2023.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **DOU**, Brasília. 31 ago. 1981. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 30 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. **DOU**. Poder Executivo. Brasília/DF. 7 mai. 2021. Seção 1.127p. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 03 mar. 2023.

BRASIL. Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **DOU nº 66**, de 7 de abril de 2008, Seção 1, 64-68p. Acesso em: 30 jan. 2023.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. Aprova a Proposição nº 11 acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL nº 107, e 27 de julho de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF. 5 dez. 2017, p. 32-34. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/resolucao115-23112017-delimitacaodosemiario-DOU.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). 2019. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/Index.asp>. Acesso em: 04 mar. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2009. 334 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Relatorio-da-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2019.pdf> . Acesso em: 02/05/2023.

CLEARY, Robert. W. **Águas Subterrâneas**. São Paulo: Princeton groundwater, inc., 2007.115 p.

COSTA, Ilton Garcia da; MELLO, Caroline Gomes de. O direito fundamental de acesso à água e a interrupção do serviço de abastecimento de água potável ao consumidor inadimplente. **Quaestio Iuris**, v.14, nº.02, p.1-26. 2021. Disponível em: [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/41278-206931-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/41278-206931-1-PB%20(1).pdf). Acesso em: 12 fev. 2023.

COSTA, Mariell Lima et al. Avaliação da qualidade da água para abastecimento humano do assentamento 10 de abril, Crato (CE) e sistema integrado de saneamento rural da bacia do salgado. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 317-340, 2021. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8932. Acesso em: 1 maio. 2023.

FREEZE, Allan. R.; CHERRY, John. A. **Água Subterrânea**. Instituto água sustentável. São Paulo, 2017. 696 p.

FRISCHKORN, Horst; SANTIAGO, Marlucia Freitas; TORQUATO, J. R. Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da bacia potiguar. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 1988. p. 144-153. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22536>. Acesso em: 13 mar. 2023.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA (UNICEF) ; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água**

potável, dizem o UNICEF e a OMS. 2019. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>. Acesso em: 13 fev. 2023.

GRASSI, Marco Tadeu. **As águas do planeta Terra.** Edição especial, 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/aguas.pdf> . Acesso em: 15 fev. 2023.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. **Aquífero Guarani.** 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149147/1/2008CL-14.pdf>. Acesso em: 14 de jan. de 2023.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2023.

HIRATA, Ricardo et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil.** São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, 2019. 64p.
Disponível em: https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf . Acesso em: 14 dez. 2022.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Águas subterrâneas: origem e ocorrência.** Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Aguas-Subterraneas-Origem-e-ocorrencia>. Acesso em: 06 mar. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Instituto Trata Brasil divulga ranking do saneamento 2022.** <https://tratabrasil.org.br/instituto-trata-brasil-divulga-o-ranking-do-saneamento-2022-no-dia-mundial-da-agua/> . Acesso em: 19 de fev. de 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento e Saúde. 2021.** Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/?s=saneamento+basico+mo+Rio+grande+do+norte>. Acesso em: 19 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e estados.** 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

IMBIRIBA JUNIOR, Manoel; MELO JUNIOR, Homero Reis de. Aquífero Alter do Chão no estado do Pará: análises físicas in loco dos poços construídos pela Rimas (SGB-CPRM). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/caba0ecd190385d347cd22892eecab25_792c78c31c29394ed006f195ce22b184.pdf. Acesso em: 01 de fev. de 2023.

LEITE, Moabe Souza. **Análise jurídica do novo marco legal do saneamento básico (lei nº 14.026/2020) e a (in)constitucionalidade frente ao direito humano fundamental do acesso à água.** 2021. 89 f. Monografia (Graduação em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/59119> . Acesso em: 14 mar. 2023

OLIVEIRA, Gesner. Seminário Saneamento e tratamento da água nos processos de abastecimento público e produtivo no Brasil. **Revista Conjuntura Econômica do Instituto**

Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV/IBRE). Campinas: FGV/IBRE, 2015. 50 f. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/fgv-oficial/gesner-oliveira-v1>. Acesso em: 11 mar. 2023.

OLIVEIRA, José Carlos et.al. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021 do ministério da saúde: o ponto de partida para enfrentamento aos contaminantes emergentes 2022. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.8, n.4, p.30890-30901, apr., 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/admin,+template+BJD+530.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

OLIVEIRA JUNIOR, Herminio Sabino de; SILVA, Paulo Cesar Moura da; SILVA, Clara Lívia Câmara e. Monitoramento e mapeamento das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.06. p. 1-11.2016. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Monitoring_and_mapping_of_underground_waters_of_ur.pdf. Acesso em: 14 fev. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Relatório de Desenvolvimento Humano. **Declaração Universal Dos Direitos Da Água, 1992**. Biblioteca virtual de Direitos Humanos da USP. Disponível em: < www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua>. Acesso em: 03 mar. 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente**. São Paulo: Ed. Cultura Acadêmica, 2000. 117p. Disponível em: https://www2.unesp.br/Home/costsa_ses/20110610_084213.PDF. Acesso em: 12 mar. 2023.

PEIXINHO, Frederico Cláudio; DINIZ, João Alberto Oliveira. **Plano estratégico em recursos hídricos no Nordeste brasileiro**. Uso sustentável da água subterrânea para aumento da oferta hídrica. Rio de Janeiro: CPRM, 2019.44 p. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/21488/1/rel_plano_estrategico_recursos_hidricos.pdf. Acesso: 03 fev. 2023.

PEIXOTO, F. S. et al. Uma cidade sobre as águas: uso e qualidade das águas subterrâneas em Mossoró/RN. GEOSABERES: **Revista de Estudos Geoducacionais**. v.12, p. 294-307, 2021.Universidade Federal do Ceará. Disponível https://www.redalyc.org/journal/5528/552866526021/html/#redalyc_552866526021_ref6. Acesso em: 02 mar. 2023.

PINHEIRO, Antônio Mateus. **Qualidade físico-química e microbiológica da água de poços subterrâneos do Município de Milhã-CE**. Mossoró: 2020. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6416/1/Ant%C3%B4nioMP_MONO.pdf. Acesso em: 03 mai. 2023.

MATOS, Antônio Teixeira de. **Qualidade do meio físico ambiental**. Viçosa: AEAMG, 2007. 140p. (Caderno didático nº 33).

MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. (Eds). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos aplicados**. 1. ed. Campina Grande: INSA, 2012. 256 p. Disponível em:

file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/recursos_hidricos_em_regioes_semiaridas.pdf . Acesso em: 6 fev. 2023.

MOSSORÓ, Prefeitura de Mossoró. **Plano municipal de saneamento básico de Mossoró/RN**. Mossoró: START/PM, 2019. 136 p. Disponível em: <https://www.prefeiturademossoro.com.br/wp-content/uploads/2019/12/PRODUTO-K-RELAT%C3%93RIO-FINAL-PMSB-MOSSOR%C3%93-22.11.19-4.pdf> . Acesso em: 14 mar. 2023.

MOSSORÓ, Prefeitura de Mossoró. **Secretaria Municipal de Agricultura aprova regime que disciplina abastecimento de água na zona rural**. 2022. Disponível em: <https://mossoro.rn.gov.br/noticia/47104/secretaria-municipal-de-agricultura-aprova-regimento-que-disciplina-abastecimento-de-agua-na-zona-rural> . Acesso em: 10 abri. 2023.

NASCIMENTO JÚNIOR, Jamaci Avelino do. **A água da chuva é segura para beber? uma revisão sobre a segurança sanitária das águas de cisternas rurais**. Brasília: 2020. 29f. Monografia (Especialista em Políticas de Gestão Ambiental). Escola Nacional de Administração Pública. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/5431/1/Jamaci%20Avelino%20do%20Nascimento.pdf> . Acesso em: 05 abr. 2023.

PARRON, Lucilia Maria; MUNIZ, H. de F.; PEREIRA, Claudia Mara. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 1. ed. Colombo: Embrapa, 2011. 70p.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. Águas subterrâneas - Fator para o desenvolvimento. **Revista Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 3, n. 1, p.16,1981. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11127>. Acesso em: 26 jan. 2023.

RICHTER, Carlos A.; DE AZEVEDO NETTO, José Martiniano. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991. 330p.

SALAZAR, Carlos Reeder Valdivieso; CORDEIRO, Gilberto Gomes. **Perspectivas do uso das águas subterrâneas do embasamento cristalino no Nordeste semi-árido do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA, 1985. 49 p. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/SDC39.pdf>. Acesso em: 29 Jan. 2023.

SILVA, André Luiz da et al. **Avaliação da qualidade da água armazenada em cisternas localizadas em comunidades rurais na Região Semiárida**. Capítulo em livro técnico científico. Embrapa Semiárida. Recife/RE, 2017.p. 44-54. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1031589&biblioteca=vazio&b-usca=1031589&qFacets=1031589&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1> . Acesso em: 06 mai. 2023.

SILVA, Fábio Nascimento da. **Portaria 888-parte 1: padrões para consumidores e operadores**. 2022. 1 vídeo (48 min. 28 s). Publicado pelo canal Conteúdos ambientais. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ZrTe_hp08Xc . Acesso em: 12 mar. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS).

Abastecimento de água 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/ab>. Acesso em: 21 fev. 2023.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; FRANCO, Rafaela; ASSIS, Jéssica Maria Guimarães de. Análise preliminar da nova portaria de potabilidade da água (PRT GM/MS nº 888/2021). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 12., 2021, Salvador. **Anais...** Disponível: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2021/V-002.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SOLDERA, Bruna. **Água na região Nordeste.** Instituto Água Sustentável, 2022. Disponível em: <https://www.aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/160-agua-na-regiao-nordeste>. Acesso em: 14 jan. 2023.

TODD, David. Keith. **Hidrologia de águas subterrâneas.** Rio de Janeiro: Edgard Blucher Ltda, 1967. 322 p.

VON SPERLING, Marcos. **Impacto do saneamento na segurança hídrica.** Belo Horizonte: SBHSF, 2022. Disponível em: <https://sbhsf.com.br/noticias/informacoes/impacto-do-saneamento-na-seguranca-hidrica-entrevista-marcos-von-sperling/> Acesso em : 21 fev. 2023.

VON SPERLING, Marcos . **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2014. 452p.