



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

LUDMILA VIRNA OLIVEIRA FERNANDES

**ANÁLISE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DO
CEARÁ**

FORTALEZA

2022

LUDMILA VIRNA OLIVEIRA FERNANDES

ANÁLISE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química com Habilitação Industrial.

Orientadora Pedagógica: Prof.^a Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal.

Orientadora Profissional: Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

FORTALEZA

2022

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

- F399a Fernandes, Ludmila Virna Oliveira.
Análise de águas subterrâneas de municípios do estado do Ceará / Ludmila Virna Oliveira Fernandes. –
2022.
51 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal.
Coorientação: Profa. Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.
1. Qualidade da água. 2. Poluição da água. 3. Segurança da água. I. Título.

CDD 540

LUDMILA VIRNA OLIVEIRA FERNANDES

ANÁLISE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química com Habilitação Industrial.

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal (Orientadora pedagógica)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa (Orientadora profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

Dra. Natalia da Rocha Pires
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Raimundo e Vanuzia.

Ao meu irmão, Lucas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tem feito na minha vida e por me dar forças durante toda a graduação.

Aos meus Pais, Raimundo e Vanuzia, por todo amor, dedicação, esforço e por sempre investirem na minha educação.

À toda minha família, meu irmão Lucas e meus avós (*in memoriam*).

À Profa. Dra. Ruth Maria Vidal, pela excelente orientação e por toda dedicação e compreensão ao longo da realização deste trabalho.

À Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa, pela orientação técnica e por ter me dado a oportunidade de estagiar no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará.

À Dra. Natalia da Rocha Pires por ter aceitado o convite, pelas colaborações a este trabalho, e por sempre ter me ajudado nas disciplinas práticas de química analítica.

À professora Judith Feitosa, pelo acolhimento desde o meu primeiro ano de iniciação científica.

Ao meu namorado, João Pedro, por todo o amor, companheirismo, paciência, amizade, alegria, incentivo, força, por ser um namorado incrível, que sempre me proporciona os melhores momentos.

Às minhas melhores amigas, Beatriz Collares, Clarice Alves, Luiza Alves, Nathalia Oliveira e Victória Cavalcante por me acompanharem desde o ensino médio até hoje, por toda amizade, força, apoio, conselhos e por todos os momentos felizes, obrigada por tudo.

Ao meu amigo e parceiro de laboratório, Tulio Aragão, por todo o apoio durante a graduação, pelos momentos de amizade, risadas, paciência, ensinamentos, conselhos e por sua contribuição na realização deste trabalho.

Aos amigos que a Universidade me proporcionou conhecer, Lorena Siqueira, Adisom, Alesssandra, Andreza, Ana Clara, Beatriz, Brenner, Gabriel, Ivaniely, João Luís, Luís Felipe, Vinicius, Susan, Wendell, em especial a Vitória Lima (“Mafalda”), obrigada por ser a minha dupla em vários trabalhos sobretudo nas práticas de química analítica 2, e a Samile por toda ajuda durante a graduação. Ademais eu sou grata pelos momentos felizes, pelo carinho, por todos os aprendizados e os grupos de estudo.

Aos meus amigos do Laboratório Polímeros - LabPol, Aline, Irisvan, Matheus, Raelle, Rhamon, Ribamar, Vanessa, Venícios e Rayane, em especial ao Rodrigo, Carlos, Everton e Neto que sempre me guiaram no laboratório. Obrigada por terem me acolhido desde o início da graduação, pelos momentos de descontração e aprendizado.

Aos funcionários do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará - NUTEC, em especial a Christiane, Erilândia e João Pedro pela contribuição, paciência e disponibilidade para o desenvolvimento do presente trabalho.

A Universidade Federal do Ceará, por toda estrutura, oportunidade, apoio, além de ter me proporcionado os melhores professores que contribuíram para minha vida profissional.

Ao NUTEC, pela a realização desse trabalho.

*“The future belongs to those who believe in the
beauty of their dreams”*

- Eleanor Roosevelt.

RESUMO

As águas subterrâneas são fundamentais para o estado do Ceará, que por possuir um quadro de chuvas irregulares, tem como alternativa a construção de poços. Entretanto, essas águas podem ser poluídas por ações antrópicas, como o uso irregular de agrotóxicos ou até mesmo o despejo irregular de esgoto. Devido às diversas espécies químicas presentes nas águas, como os nitratos, nitritos e fósforo, o meio torna-se favorável a eutrofização que gera a contaminação dessas águas. Assim, o presente trabalho objetiva avaliar a composição química de amostras de água subterrânea localizadas em três municípios do estado do Ceará, no período do segundo semestre de 2021, como também visa avaliar a qualidade da água de acordo com a legislação vigente. Desse modo, foram selecionados para análise os seguintes parâmetros: pH a 25 °C, condutividade, cor, turbidez, teor de clorofila a, fósforo total, nitrato e nitrito. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de potabilidade preconizados pela Portaria 888/21 do Ministério da Saúde, e revelaram que 86,66% das amostras analisadas não atenderam ao padrão de potabilidade. Os parâmetros que se mostraram em desacordo foram: cor (33,33%), turbidez (13,33%), clorofila a (26,66%) e nitrato (73,33%). Diante dos resultados obtidos, é necessário a realização do monitoramento e do tratamento correto dessas águas para que os padrões determinados pela legislação sejam aceitos, visando à potabilidade da água e a saúde pública.

Palavras-chave: Qualidade da água; Poluição da água; Segurança da água.

ABSTRACT

Groundwater is fundamental for the state of Ceará, which, due to irregular rainfall, has as an alternative the construction of wells. However, these waters can be polluted by human actions, such as the irregular use of pesticides or even the irregular dumping of sewage. Due to the different chemical species present in the waters, such as nitrates, nitrites and phosphorus, the environment becomes favorable to eutrophication, which generates the contamination of these waters. Thus, the present work aims to evaluate the chemical composition of groundwater samples located in three municipalities in the state of Ceará, in the period of the second half of 2021, as well as to evaluate the quality of water in accordance with current legislation. Thus, the following parameters were selected for analysis: pH at 25 °C, conductivity, color, turbidity, chlorophyll a, total phosphorus, nitrate and nitrite. The results obtained were compared with the potability standards recommended by edict 888/21 of the Ministry of Health, and revealed that 86.66% of the analyzed samples did not meet the potability standard. The parameters that were in disagreement were: color (33.33%), turbidity (13.33%), chlorophyll a (26.66%) and nitrate (73.33%). In view of the results obtained, it is necessary to carry out the monitoring and correct treatment of these waters so that the standards determined by the legislation are accepted, aiming at the potability of water and public health.

Keywords: Water quality; Groundwater Pollution; Water security.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Distribuição de água na Terra.....	19
Figura 2	– Bacia hidrográfica do rio São Francisco.....	20
Figura 3	– Distribuição de mananciais no Estado do Ceará.....	21
Figura 4	– Zoneamento de profundidade (m) dos poços do Estado do Ceará.....	22
Figura 5	– Esquema do ciclo hidrológico.....	23
Figura 6	– Disponibilidade Hídrica Subterrânea.....	25
Figura 7	– Fontes de Contaminação das águas subterrâneas.....	27
Figura 8	– Escala de pH	31
Figura 9	– Estrutura química da clorofila a.....	33
Figura 10	– Etapas para a determinação do fósforo	37
Figura 11	– Etapas para a determinação do nitrito	38
Figura 12	– Etapas para a determinação do nitrato	39
Figura 13	– Etapas para a determinação da clorofila a	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos componentes inorgânicos na água subterrânea	26
Tabela 2 – Principais contaminantes da água subterrânea associados com os usos do solo	29
Tabela 3 – Valores médios obtidos para o município localizado na região Norte	42
Tabela 4 – Valores médios obtidos para o município localizado na região Sertão	44
Tabela 5 – Valores médios obtidos para o município localizado na região Oeste	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APHA	American Public Health Association
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRPM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
LQA	Laboratório de Química Ambiental
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
NTU	Unidades de Turbidez
NUTEC	Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará
pH	Potencial Hidrogeniônico
SRH	Secretária dos Recursos Hídricos
uH	Unidades Hazen

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Água	19
3.1.1	<i>Ciclo Hidrológico</i>	23
3.1.2	<i>Classificação da água</i>	24
3.1.3	<i>Águas Subterrâneas</i>	24
3.1.4	<i>Qualidade das águas subterrâneas</i>	26
3.1.5	<i>Poluição das águas subterrâneas</i>	27
3.2	Parâmetros de Qualidade da Água	30
3.2.1	<i>Variáveis Físicas</i>	30
3.2.1.1	<i>Cor</i>	30
3.2.1.2	<i>Condutividade</i>	30
3.2.1.3	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	31
3.2.1.4	<i>Turbidez</i>	31
3.2.2	<i>Variáveis Químicas</i>	32
3.2.2.1	<i>Fósforo (P)</i>	32
3.2.2.2	<i>Nitrato (NO_3^-) e Nitrito (NO_2^-)</i>	32
3.2.3	<i>Variáveis Hidrobiológicas</i>	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	Variáveis Físicas	35
4.1.1	<i>Determinação da cor</i>	35
4.1.2	<i>Determinação da condutividade</i>	35
4.1.3	<i>Determinação do pH</i>	36
4.1.4	<i>Determinação da turbidez</i>	36
4.2	Variáveis Químicas	36
4.2.1	<i>Determinação do fósforo</i>	36
4.2.2	<i>Determinação do nitrato</i>	37
4.2.3	<i>Determinação do nitrito</i>	38

4.3	Variáveis Hidrobiológicas.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	Município A	42
5.2	Município B	44
5.3	Município C	46
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea representa cerca de 29,9% da água doce disponível na Terra. Ela tem um papel muito importante de garantir o abastecimento público de milhares de pessoas, sustentar sistemas de irrigação para a produção de alimentos, ser utilizada como insumo para a produção industrial, além de manter 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).

No semiárido nordestino é comum longos períodos de secas e rios intermitentes, que passam a maior parte do ano sem água. Os açudes são utilizados para armazenar a água para estes períodos de seca, constituindo, portanto, os principais mananciais para esta região (ANA, 2020). No estado do Ceará, 53 sedes usam mananciais exclusivamente subterrâneos, que abastecem cerca de 1,1 milhão de habitantes (ANA, 2021). Na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil, estavam cadastrados, até fevereiro de 2022, 35146 poços cearenses (CRPM, 2022).

As águas subterrâneas apresentam vantagens, quando comparada as águas superficiais, como possuir uma qualidade superior, reservas com grandes volumes, menor perda por evaporação e um baixo custo com infraestrutura. Apesar de mais protegidas elas não estão totalmente isentas de contaminação, a aplicação de fertilizantes para atividades agrícolas, efluentes industriais, fossas sépticas, a deposição inadequada de resíduos sólidos, até postos de combustíveis, são fatores que podem comprometer a qualidade da água subterrânea. Dessa forma, é necessário realizar análises físicas, químicas e microbiológicas.

A Agenda 2030 é um plano de ação global que reúne 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. Ela abrange o desenvolvimento econômico, a erradicação da pobreza, da miséria e da fome, a inclusão social e a sustentabilidade ambiental (BRASIL, 2022). Um dos seus objetivos é garantir o acesso universal e seguro à água potável. Assim, a qualidade da água para fins de consumo humano deve ser muito segura para proteger a saúde dos seus usuários, além de ser um direito de todos. No Brasil, a portaria nº 888 de 4 de maio de 2021 do ministério da saúde (GM/MS Nº 888/21), que é responsável por garantir o padrão de potabilidade, juntamente com a CONAMA N.º 396/08, que dispõe sobre o enquadramento das águas subterrâneas, são responsáveis por garantir a qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano.

As variáveis físicas utilizadas neste estudo são a condutividade, cor, turbidez e pH. A condutividade é a expressão numérica da capacidade da água de conduzir uma corrente

elétrica. Ainda não há nas resoluções um valor máximo permitido para essa análise. A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la. A GM/MS N° 888/21, determina que a cor deve ser inferior a 15 uH (unidades Hazen). A turbidez é uma medida do grau de interferência à passagem da luz através um líquido. A referida portaria estabelece que a turbidez deve ser inferior para água subterrânea, apresentando o valor máximo permitido de 5,0 uT (unidades de turbidez). O pH é uma medida do grau de acidez ou alcalinidade da água. A GM/MS N° 888/21 determina que, o pH das águas subterrâneas deve estar na faixa de 6,0 a 9,5.

As variáveis químicas utilizadas neste estudo são fósforo total, nitrato e nitrito. O fósforo indica a poluição por esgoto doméstico e detritos orgânicos. A CONAMA N.º 357/05, que dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos de água, indica o valor máximo permitido de 0,03 mg/L de fósforo. O contaminante inorgânico de maior preocupação nas águas subterrâneas é o íon nitrato, que comumente ocorre em áreas rurais e urbanas (BAIRD, 2012). Quando o nitrato é encontrado em altas concentrações na água, pode causar uma doença chamada cianose ou síndrome do bebê azul, que impede a passagem de oxigênio no sangue. Essa doença também ocorre quando o nitrito está presente em concentrações elevadas. A CONAMA N.º 396/08, determina como limite de concentração o valor máximo de 10,0 mg/L de nitrato e 1 mg/L para o nitrito.

A variável hidrobiológica utilizada nesse estudo é clorofila a. Essa análise tem um papel importante para determinar a presença de algas. A presença dessas, em águas destinadas ao consumo humano podem causar vários efeitos na qualidade da água, como: o aumento de matéria orgânica particulada, formação de compostos organoclorados, apresentar toxicidade, incrementar a cor da água, além de servir de substrato para o crescimento de bactérias. A CONAMA N.º 357/05, estabelece que para as águas de Classe 1, que são águas destinadas ao consumo humano, após tratamento simplificado, o valor máximo permitido é de 10 µg/L. Já para as águas de Classe 2, que são águas destinadas ao consumo humano, após tratamento convencional, o valor máximo permitido é de 30 µg/L.

Portanto, o presente trabalho visa analisar os parâmetros pH a 25 °C, condutividade, cor, turbidez, teor de clorofila a, fósforo total, nitrato e nitrito, das águas subterrâneas presentes em 15 poços de três municípios do Estado do Ceará, a fim de verificar se os valores estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA N.º 396/08 e a portaria GM/MS N.º 888/21, garantindo a qualidade dessas águas para consumo humano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar a análise química de amostras de águas subterrâneas de poços de 3 municípios do estado do Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar os parâmetros físicos: condutividade, cor, pH e turbidez;
- Determinar os parâmetros químicos: fósforo total, nitrato e nitrito;
- Determinar o parâmetro hidrobiológico: clorofila a;
- Relacionar os resultados obtidos com as portarias vigentes.
- Comparar os resultados obtidos com a literatura e analisar as prováveis consequências à saúde humana após o consumo de águas impróprias.

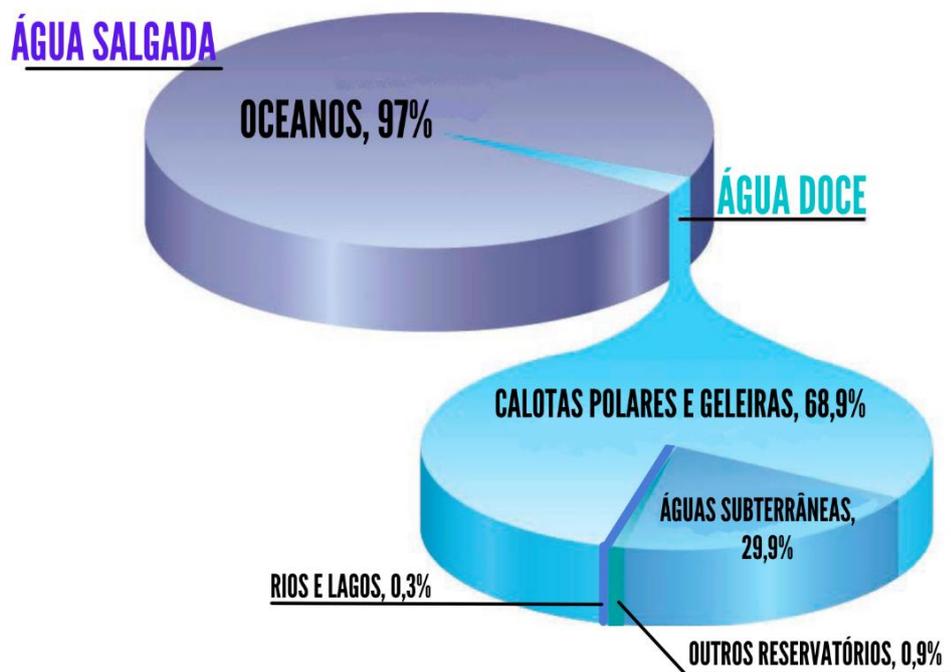
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água

A água é um recurso natural indispensável para a manutenção dos ecossistemas e da vida na Terra. Estima-se que dois terços do corpo humano seja composto por água e a maioria dos outros animais terrestres contém uma proporção semelhante. As bactérias e outros microrganismos geralmente contêm cerca de 90–95% e os animais aquáticos geralmente comportam três quartos de água. Vale ressaltar sua importância fisiologicamente, pois ela desempenha um papel essencial no controle da temperatura, na produção de energia, no transporte de substâncias para as células, na desintoxicação do organismo e na regulação do intestino (BOYD, 2020).

Cerca de 75% da superfície da Terra é ocupado por água, sendo 97% ocupado por mares, oceanos e lagos de água salgada, e apenas 3% por águas doces. Entretanto, a parcela mais significativa da água doce, está concentrada em geleiras e calotas polares, ou seja, é inaproveitável para fins de abastecimento para toda população terrestre, conforme ilustrado na Figura 1, a seguir (LIBÂNIO, 2016).

Figura 1 – Distribuição de água na Terra



Fonte: adaptado de The World Bank Group (2022).

No Brasil, cerca de 3.125 mananciais superficiais são responsáveis por abastecer as sedes urbanas, totalizando 4.063 pontos de captações. Entre esses, temos como destaque o rio São Francisco, que se apresenta como o maior manancial superficial em questão de atendimento. Ele é responsável por abastecer 186 sedes urbanas, incluindo os municípios contemplados pela transposição de suas águas para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Além disso, tem grande importância para o abastecimento de água das regiões Nordeste e Sudeste, sendo considerado um dos fatores essenciais de desenvolvimento, principalmente, do Nordeste brasileiro, pelo fato de se localizar no semiárido nordestino e ser uma das poucas fontes de água da região (SOUSA, 2022). Conforme pode ser observado na Figura 2 a seguir:

Figura 2 – Bacia hidrográfica do rio São Francisco.



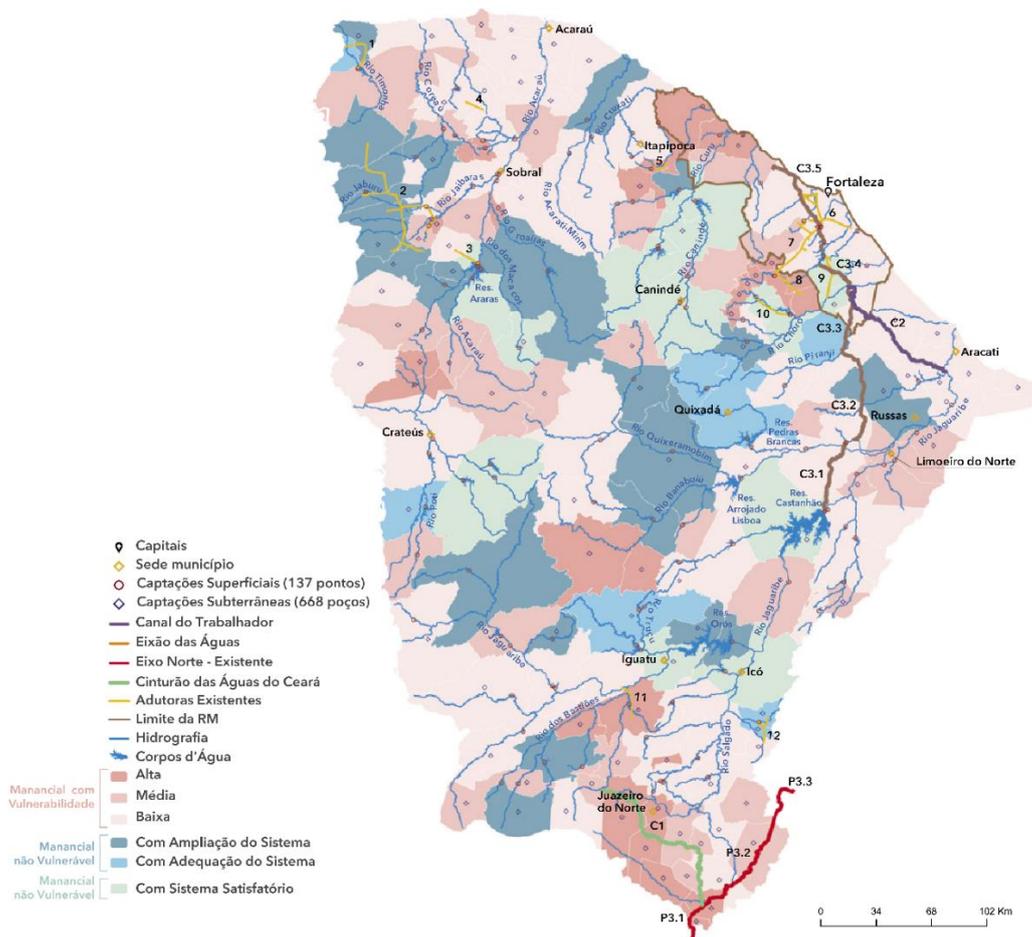
Fonte: https://pdrhsf1.com.br/?page_id=4407 (2022).

O uso de mananciais subterrâneos, no Brasil, é responsável por abastecer

exclusivamente as regiões Norte e Nordeste, sendo que nesta última 33% das sedes e 18% da população urbana (8 milhões) são contempladas com o abastecimento subterrâneo. Além disso, o uso exclusivo ou preponderante, atende apenas 15% da população urbana, entretanto, em 43% das cidades, ele é responsável por complementar o abastecimento de 36% da população juntamente com o manancial superficial, que ainda é preponderante em grandes centros urbanos (ANA, 2021).

No nordeste brasileiro, especificamente no Estado do Ceará, existem 137 pontos de captações superficiais que são responsáveis pelo abastecimento de 49% dos municípios cearenses (91 sedes), correspondendo a 75% da população urbana do estado (5,5 milhões de habitantes). Ademais, 53 sedes utilizam mananciais exclusivamente subterrâneos, que são responsáveis por abastecer 1,1 milhão de habitantes. Já os mananciais mistos, são encarregados pelo abastecimento de 40 sedes, cerca de 0,7 milhão de habitantes (ANA, 2021). Conforme ilustrado na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Distribuição de mananciais no Estado do Ceará

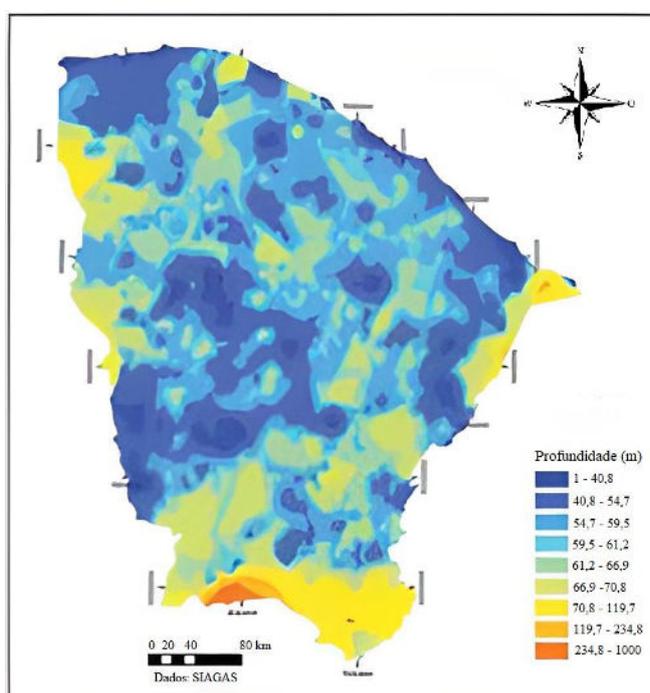


Fonte: adaptado de ANA (2021).

Segundo o relatório da ANA (2021), a classificação dos mananciais foi realizada a partir de três avaliações de vulnerabilidade: a) a classificação municipal do Índice de Segurança Hídrica para a Dimensão de Resiliência; b) o grau de atendimento à demanda (ou relação oferta x demanda); e c) o porte do manancial. Em relação à classificação dos sistemas produtores, foi considerada se há necessidade de adequação ou de ampliação da infraestrutura existente. No Estado do Ceará, 72% das sedes urbanas apresentam mananciais vulneráveis em diferentes níveis, sendo 17% com alta vulnerabilidade, 19% com média vulnerabilidade e 36% com baixa vulnerabilidade. Cerca de 6,1 milhões de habitantes se encontram nessas regiões, com destaque para Sobral, Maracanaú, Juazeiro do Norte, Caucaia e Fortaleza, cujas populações urbanas são superiores a 150 mil habitantes. Em contrapartida, 19 sedes urbanas apresentaram manancial não vulnerável e sistema produtor satisfatório, a qual 65% delas possuem baixo contingente populacional, com população inferior a 20 mil habitantes.

No Ceará, a profundidade dos poços existentes é variável. A Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH/CE) os classifica como poços rasos (Profundidade até 20 m), medianamente profundos (Profundidade entre 20 e 50 m) e profundos (Profundidade acima de 50 m). Em geral, observa-se que a profundidade dos poços é até 66 m, a qual ocupam a parte central e faixa costeira, sendo que nesta última predominam aqueles com profundidade inferior a 41 m (DE MEDEIROS, 2011). Conforme ilustrado na Figura 4 a seguir:

Figura 4 – Zoneamento de profundidade (m) dos poços do Estado do Ceará

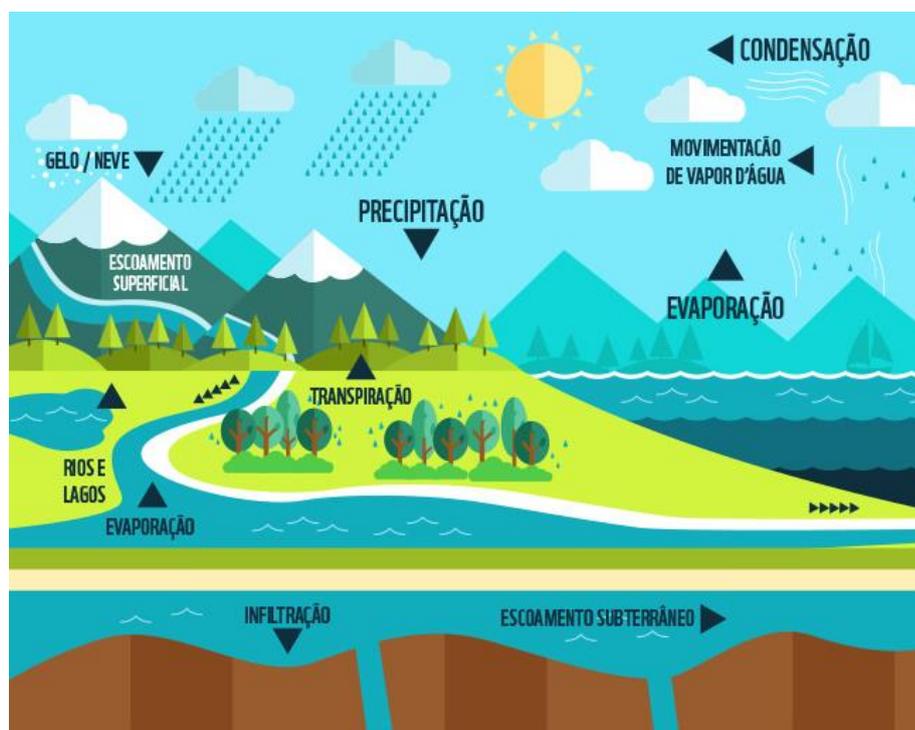


Fonte: DE MEDEIROS (2011).

3.1.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico, é muito importante para as trocas de hidrogênio entre os seres vivos e o ambiente. A água está em constante mudança de estado físico, podendo ser encontrada no estado sólido, líquido e gasoso, e há permanente troca dessa substância entre rios, lagos, solos, atmosfera e seres vivos. Sua principal entrada no ciclo hidrológico acontece pela precipitação das chuvas. Após essa etapa, parte das águas que atingem o solo e as rochas se infiltram através dos espaços e percolam no interior do subsolo. Devido as forças de adesão das moléculas de água, parte dela que não se infiltra, escorre sob a superfície alimentando rios, riachos, lagos e mares e oceanos. A saída da água acontece por meio da evapotranspiração, que é a combinação da evaporação da água presente sob forma líquida na superfície da Terra e a liberação de água pelos seres vivos e plantas por transpiração (BECKER, 2017). O esquema do ciclo hidrológico é representado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema do ciclo hidrológico



Fonte: WWF (2015).

A reposição das águas subterrâneas é uma etapa de grande importância no ciclo hidrológico, que pode levar períodos de tempo extremamente variáveis, decorrentes de muitos fatores como a porosidade do subsolo, cobertura vegetal, inclinação do terreno e o tipo de chuva (ABAS, 2021).

3.1.2 Classificação da água

As águas podem ser classificadas de acordo com o local onde podem ser encontradas, sendo classificadas como superficiais ou subterrâneas. As superficiais são aquelas que se acumulam na superfície, sendo encontrada por exemplo em rios, lagos e mares. A legislação responsável pela classificação desses corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como as condições e os padrões de lançamento de efluentes por todo território nacional é a CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que em seu artigo 2º classifica as águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 %; águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 % e inferior a 30 %; e águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 %.

Além disso, a classificação dos corpos de água é baseada no objetivo de qualidade (Classe) a ser alcançado ou mantido em um curso d'água, considerando a utilização do manancial ao longo do tempo. As águas doces, salobras e salinas são classificadas, em treze classes de qualidade. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, ao classificar os corpos d'água em classes: especial, 1, 2, 3 e 4, explicita alguns usos, tais como abastecimento público, manutenção das espécies aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e aquicultura.

Segundo a CONAMA, as águas subterrâneas são aquelas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. Elas são enquadradas pela resolução CONAMA nº 396 de 3 de abril de 2008, que em seu artigo 3º classifica as águas subterrâneas nas classes: especial, 1, 2, 3, 4, e 5. Além disso, a referida legislação explicita a finalidade da água para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

3.1.3 Águas Subterrâneas

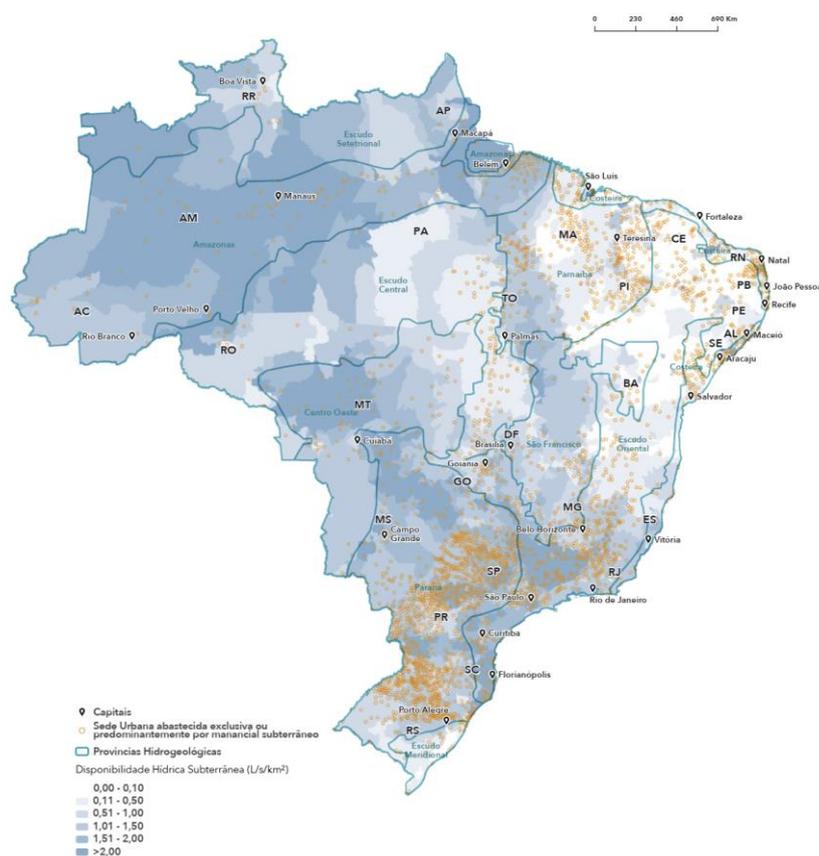
De acordo com a Associação Brasileira de Águas Subterrânea (ABAS), as águas subterrâneas correspondem à água abaixo da superfície da Terra, que preenche os poros, vazios intergranulares das rochas sedimentares ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas. Ela está submetida às forças de adesão e de gravidade, e desempenham um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos.

A água subterrânea ocorre em duas zonas principais: zona de aeração (não saturada) e zona saturada. A primeira é ocupada pela água e pelo ar, na qual ocorrem as principais

interações entre os contaminantes e solo, como uma zona de transição entre a poluição na superfície e nas águas subterrâneas. A zona saturada é a que possui os poros de rochas ou de solo preenchidos totalmente por água, formando os aquíferos (LIBÂNIO, 2016). Dependendo da localização, a profundidade da água subterrânea varia. Em muitos locais a extração das águas subterrâneas é complexa, devido à profundidade do lençol freático ou pela presença de rochas muito duras (KARAMOUZ *et al.*, 2020).

No Brasil, conforme ilustrado na Figura 6, em termos estaduais, o uso das águas subterrâneas é maior, com mais de 70% das sedes urbanas abastecidas, em Mato Grosso do Sul (80%), Piauí (78%), Maranhão (74%), Pará (74%) e Amazonas (71% das sedes), totalizando o atendimento a uma população urbana de 7 milhões de habitantes. 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 atendida. Desse modo, assim como os mananciais superficiais, os subterrâneos também enfrentam problemas devido à contaminação por esgotos não coletados e tratados corretamente, tornando-se, em muitos casos, o principal contaminante, comprometendo a qualidade da água (ANA, 2021).

Figura 6 – Disponibilidade Hídrica Subterrânea



Fonte: ANA,2021.

A água subterrânea está contida em formações geológicas, chamada aquíferos, que são suficientemente permeáveis para transmitir e produzir água. A maioria dos aquíferos com altas vazões, consistem de areias e cascalhos inconsolidados encontrados em planícies costeiras, vales aluviais e depósitos glaciais. Quanto mais poroso o material, maior será a presença dele em aquíferos (LIU, 1999).

A extração das águas subterrâneas no Brasil é feita por meio de poços tubulares (popularmente conhecidos como artesianos), escavados e de nascentes. Infelizmente, o número real de poços no país é desconhecido. Apesar da obrigatoriedade por lei do registro e/ou de autorização de extração (outorga) de água, o número de captações regulares é de pouco mais de 1%, no caso dos poços tubulares (HIRATA *et al.*, 2019).

3.1.4 Qualidade das águas subterrâneas

A composição química e bioquímica das águas subterrâneas, vai depender do tipo de solo do qual são extraídas, dos fatores naturais relacionadas ao clima, do ambiente de circulação, aporte de gases, troca iônica, mistura de águas de diferentes origens e da influência antrópica. Os constituintes inorgânicos presentes nas águas subterrâneas têm origem nas águas de infiltração, no intemperismo químico, em fenômenos magmáticos e nas atividades vulcânicas (ALMEIDA, 2016). Na tabela 1 é apresentada a classificação dos componentes inorgânicos dissolvidos na água subterrânea.

Tabela 1 - Classificação dos componentes inorgânicos na água subterrânea

Constituintes principais (> 5 mg/L)		Constituintes menores (0,01-10,0 mg/L)		Constituintes traços (< 0,01 mg/L)
Ácido Carbônico	Magnésio	Boro	Fluoreto	Alumínio
Bicarbonato	Sílica	Estrôncio	Nitrato	Manganês
Cálcio	Sódio	Carbonato	Potássio	
Cloreto	Sulfato	Ferro		

Fonte: Adaptado de ALMEIDA (2016) e FEITOSA (2008).

Segundo a CONAMA 396/08, a qualidade das águas subterrâneas no Brasil vai depender da sua utilização, com ou sem tratamento, independentemente da classe de enquadramento. Em relação aos parâmetros de análise, descritos no artigo 12 da portaria, deverão ser escolhidos em função das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das

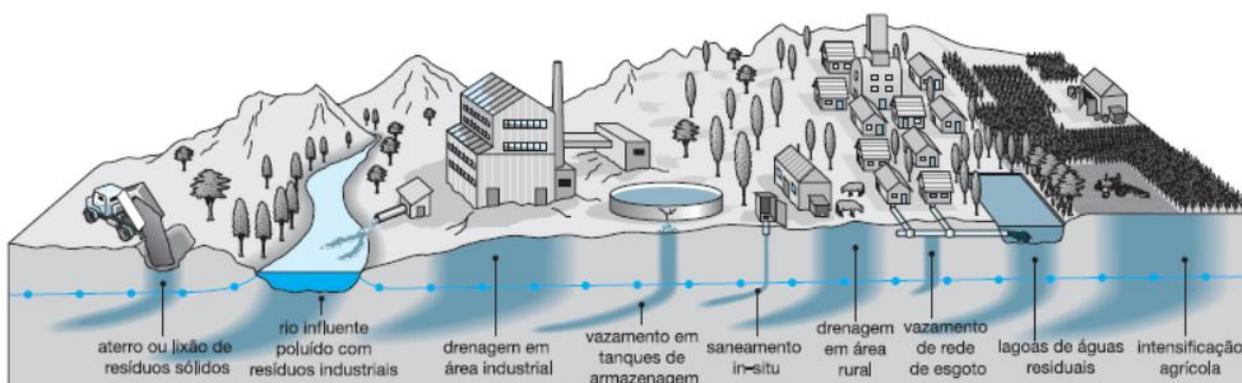
fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente. Além disso, dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, sólidos totais dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes. Ademais, o artigo 13 dessa resolução cita outras análises essenciais como pH, turbidez, condutividade elétrica e a medição de nível de água.

3.1.5 Poluição das águas subterrâneas

Segundo Libânio (2016), é necessário distinguir os termos poluição e contaminação. A poluição indica a ocorrência de alterações prejudiciais ao meio aquático, e quando essas alterações causam risco a saúde dos elementos da biota ou do ser humano que dele faz uso, a poluição passa denominar-se contaminação. Ou seja, é possível poluir um corpo d'água sem necessariamente contaminá-lo, mas a ocorrência da contaminação como consequência de uma ação antrópica sempre estará associada a poluição.

As águas subterrâneas apresentam algumas vantagens em relação as águas superficiais, uma delas é que a água possui excelente qualidade natural, geralmente potável, permitindo seu uso direto com pouco ou nenhum tratamento na maioria das captações (HIRATA *et al.*, 2019). Entretanto, a qualidade dessas águas pode ser afetada por diversos fatores, como as atividades humanas, através da eliminação de resíduos, mineração e agricultura. Além disso, pode ser causada por fenômenos naturais, por meio da lixiviação natural do solo e da mistura com outras fontes de águas subterrâneas de diferentes composições (LIU, 1999). A Figura 7 ilustra as diferentes formas de origem de contaminação das águas subterrâneas.

Figura 7 – Fontes de Contaminação das águas subterrâneas



Fonte: SILVA (2012).

O movimento da água e o transporte de contaminantes da superfície da terra para

os aquíferos pode ser em muitos casos um processo lento. Pode levar cerca de anos ou décadas antes do impacto da poluição por um contaminante persistente que se torna totalmente aparente no abastecimento de água subterrânea, especialmente em poços mais profundos (FOSTER *et al.*, 2002).

De acordo com a distribuição espacial da fonte de contaminação, a mesma pode ser pontual, difusa ou até mesmo linear. A fonte pontual trata-se daquela que está localizada em uma pequena superfície e que geralmente está relacionada a concentrações elevadas, por exemplo, um poço tubular ou escavado. A fonte difusa é aquela que ocupa uma grande superfície, mesmo com baixa concentração, como áreas urbanas ou áreas de irrigação. A fonte linear existe quando a origem de contaminação é um rio ou canal (FEITOSA, 2008).

As formas mais comuns de poluição e contaminação, indireta, segundo MMA (2007) são filtragem vertical descendente, quando ocorre poluição de um aquífero mais profundo pelas águas de um aquífero livre superior; poluição natural, que é provocada pela transformação química e dissolução de minerais, podendo ser agravada pela ação antrópica, por exemplo, a salinização, presença de ferro, manganês, carbonatos e outros minerais associados à formação rochosa; poços mal construídos e/ou abandonados, são poços construídos sem critérios técnicos, com revestimento corroído/rachado, sem o fechamento adequado (tamponamento).

Nas regiões rurais, a contaminação das águas subterrâneas se realiza por meio da infiltração de agrotóxicos e nitratos utilizados excessivamente na agricultura. Como sais de nitrato são solúveis em água, eles têm alta mobilidade tanto em solos saturados quanto insaturados, se tornando um dos principais poluentes das águas subterrâneas. Em solos arenosos submetidos à irrigação, notou-se a elevada concentração de nitratos em águas subterrâneas. Ademais, poços mais antigos, de escavação rudimentar e precária proteção na borda do poço tem a tendência de apresentar contaminação por agrotóxicos. No nordeste brasileiro, são comuns mananciais subterrâneos com salinidade significativa, por vezes agravada nas áreas de irrigação (LIBÂNIO, 2016).

A Tabela 2 a seguir descreve a respeito dos tipos de atividade mais comuns capazes de causar poluição, juntamente com os principais contaminantes encontrados nas águas subterrâneas.

Tabela 2 – Principais contaminantes da água subterrânea associados com os usos do solo

Potenciais Fontes Poluidoras	Principais Fontes de Contaminação	Principais contaminantes
Residência Urbana	Fossas sépticas, jardinagem, efluentes domésticos a céu aberto, aterros domésticos e hospitalares e drenos de rodovias.	Vírus, coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> , bactérias, fármacos, fertilizantes, nitrato, DBO, cloreto.
Disposição de Resíduos	Aterros industriais, controlados domésticos e hospitalares, áreas de bota – fora (Vazadouros), áreas industriais abandonadas.	Metais pesados, solventes clorados, hidrocarbonetos aromáticos, sais inorgânicos e orgânicos, nitratos, fármacos.
Comércio	Lavagem de veículos, posto de gasolina, cerâmicas, ferro velho, comércio de produtos fitossanitários, linha férrea, estrada de rodagem.	BTEX, metais pesados, fármacos, patógenos, cloreto, compostos orgânicos.
Indústria	Oficinas mecânicas, extração mineral, indústrias químicas e petroquímicas, indústria petrolífera, efluentes industriais, bacias de detenção, oleodutos e gasodutos, materiais em suspensão.	Metais pesados, sais inorgânicos e orgânicos, hidrocarbonetos aromáticos, solventes organoclorados.
Agricultura	Disposição inadequada de Resíduos sólidos, materiais em suspensão, vazamento de tubulações e tanques, uso indiscriminado de defensivos agrícolas, irrigação utilizando águas residuais, lagoas de efluentes com lançamento em superfície, plantações de algodão, arroz, cana-de-açúcar, coco, feijão, mandioca, milho e etc.	Contaminação por agrotóxicos praguicidas e inseticidas sintéticos (organofosforados e carbamatos), série nitrogenada, metais, ácido, fluoreto, pentóxido de vanádio, além de potássio.
Atividade Cemiterial	Áreas de desova, cemitérios convencionais públicos e privados.	Substâncias orgânicas degradáveis, a cadaverina e a putrescina, além de vírus e bactérias.

Fonte: Adaptado de SILVA (2013).

3.2 Parâmetros de Qualidade da Água

Devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, a água incorpora em si diversas impurezas, as quais definem sua qualidade. Essa pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e microbiológicas (VON SPERLING, 2005).

3.2.1 Variáveis Físicas

As variáveis físicas utilizadas na portaria CONAMA 396/08 são condutividade, turbidez e sólidos totais dissolvidos. Neste estudo são utilizadas a cor, condutividade, pH e turbidez.

3.2.1.1 Cor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, que pode resultar de íons metálicos naturais, como o ferro e o manganês, de materiais húmicos e turfas, plâncton, ervas e despejos industriais. No entanto, o maior problema de cor na água é o estético, que causa um efeito repulsivo em seus usuários. Ela é expressa em unidades de cor, também chamadas uH (unidade Hazen) (BECKER, 2017). Segundo a portaria GM/MS N.º 888/21, que dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, a cor deve ser inferior a 15 uH.

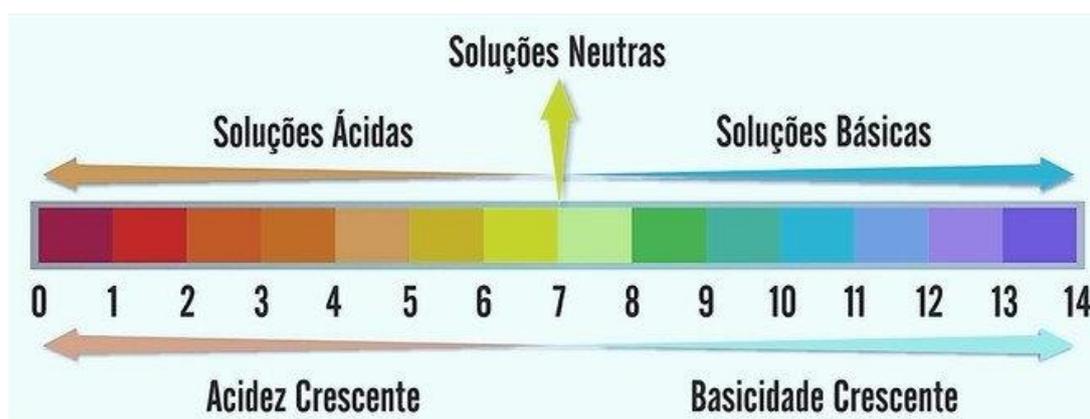
3.2.1.2 Condutividade

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Ela vai depender das concentrações iônicas e da temperatura, e vai indicar a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2017). A resolução CONAMA 396/2008 não determina valor específico para esta variável.

3.2.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas no meio líquido. Ele é calculado como $-\log[H^+]$, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas), como mostra a figura 8.

Figura 8 – Escala de pH



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/o-que-e-ph/> (2022).

O pH das águas subterrâneas normalmente estão entre 5,5 e 8,5, podendo em casos raros variar entre 3,0 e 11,0 (FEITOSA *et. al*, 2008). É um parâmetro muito importante pois, determina os efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies em ecossistemas aquáticos. Em determinadas condições de pH, a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados pode ocorrer, ou até mesmo, exercendo efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (CETESB, 2017). A resolução CONAMA N° 396 de 2008 determina que o pH deve estar na faixa de 6,0 a 9,5.

3.2.1.4 Turbidez

A turbidez é expressa em unidades de turbidez nefelométrica (NTU) e tem como característica a apresentação de partículas suspensas no corpo hídrico, interferindo na intensidade de um feixe de luz a atravessá-la. Essas partículas provocam a dissipação e a absorção da luz, dando a água uma aparência turva, aparentemente indesejável (MONTEIRO, 2015). Em águas superficiais, uma elevada turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas

aquáticas (CETESB, 2017). Segundo a portaria GM/MS N.º 888/21, a turbidez deve ser inferior para água subterrânea, apresentando o valor máximo permitido de 5,0 uT.

3.2.2 Variáveis Químicas

As variáveis químicas utilizadas na portaria CONAMA 396/08 são divididas nos grupos inorgânicos, que compreendem os metais, não-metais e halogênios, os orgânicos e por fim, os agrotóxicos. Neste estudo são utilizados os parâmetros de fósforo, nitrato e nitrito.

3.2.2.1 Fósforo (P)

O fósforo (P) é encontrado em resíduos orgânicos, pedreiras de fosfato de rocha, fertilizantes e pesticidas em concentrações elevadas o suficiente para potencialmente lixiviar para as águas subterrâneas. Embora o fósforo não seja um constituinte prejudicial na água potável, sua presença nas águas subterrâneas é ambientalmente significativa se as águas subterrâneas descarregam para um corpo de água superficial onde o fósforo pode produzir o crescimento de algas e causar eutrofização do sistema aquático (LIU, 1999). O fósforo pode se apresentar nas águas na forma de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, e H_3PO_4), dependem do pH, sendo o pH mais comum para HPO_4^{2-} (VON SPERLING, 2005). De acordo com a resolução CONAMA 357/05 os níveis limites para águas doces variam até 0,03 mg/L.

3.2.2.2 Nitrato (NO_3^-) e Nitrito (NO_2^-)

O nitrogênio em águas é principalmente proveniente de atividades agrícolas e do descarte de esgoto sobre ou abaixo da superfície da terra. A principal forma de nitrogênio que existe nas águas subterrâneas é o nitrato (KARAMOUZ, 2020). A forma encontrada do nitrogênio no corpo d'água fornece a informação sobre o estágio da poluição ocasionada pelo despejo doméstico no mesmo. Em caso de poluição recente, o nitrogênio encontra-se, principalmente, sob a forma de nitrogênio orgânico ou amônia e em caso de poluição antiga, basicamente, sob a forma de nitrato ou nitrito (VON SPERLING, 2005). O excesso de nitrato na água pode causar a metemoglobinemia (cianose), tanto em crianças recém nascidas, como

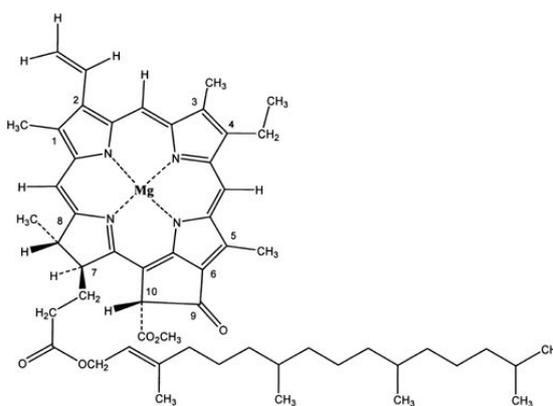
em adultos. Essa doença ocorre em quem possui a deficiência na produção dessa enzima, a qual leva a ausência de oxigênio na corrente sanguínea podendo tornar o sangue azul, por esse motivo essa doença é conhecida popularmente como “síndrome do bebê azul” (BECKER, 2017).

O íon nitrito é muito instável na presença do oxigênio, ocorrendo como forma intermediária. O nitrito se refere a contaminações no corpo hídrico, com origem de material orgânico animal ou vegetal. Além disso, pode ser apontado como resultado de decomposição biológica por ação de microrganismos, ou ainda, proveniente de ativos inibidores corrosivos em instalações de indústrias (CRESPIM, 2017). Na água com finalidade para consumo humano a resolução CONAMA N° 396 de 2008 e portaria GM/MS N.º 888/21, determina como limite de concentração o valor de 10,0 mg/L de nitrato, 1,0 mg/L de nitrito.

3.2.3 Variáveis Hidrobiológicas

A variável hidrobiológica utilizada neste estudo é a clorofila a (Figura 9). A clorofila é um pigmento da cor verde cujo papel principal é a absorção da luz solar e sua conversão para energia química durante a fotossíntese, processo essencial para o ecossistema. A fotossíntese é responsável pelo fornecimento de oxigênio e em processos de obtenção de energia (respiração celular) (BORRMANN, 2009).

Figura 9 – Estrutura química da clorofila a



Fonte: adaptado de STREIT (2005).

A clorofila a é o pigmento predominante e está presente em todos os organismos fitoplanctônicos sejam eucarióticos (algas) ou procarióticos (cianobactérias), por isso é, um indicador da biomassa algal. A presença de algas e/ou cianobactérias em águas destinadas ao consumo humano podem causar efeitos diretamente ligados a qualidade da água, tais como: o

aumento de matéria orgânica particulada, o aumento de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir odor e sabor à água, formação de compostos organoclorados, apresentar toxicidade, incrementar a cor da água, servir de substrato para o crescimento de bactérias na estação de tratamento, contribuir para aumentar a corrosão, além de diminuir o teor de oxigênio próximo ao sedimento podendo ocorrer liberação de sulfeto de hidrogênio, amônia, ferro, manganês, fósforo entre outros (KURODA, 2005).

As clorofilas são moléculas formadas por complexos derivados da porfirina, tendo como átomo central o Mg (magnésio). Esse composto é uma estrutura macrocíclica assimétrica totalmente insaturada constituída por quatro anéis de pirrol. Na clorofila a o anel de porfirina contém um grupo metil (-CH₃) no C-3 (STREIT, 2005).

Além disso, ela é considerada muito importante para subsidiar ações de controle, estudos de produtividade primária, de poluição orgânica ou industrial, assim como determinar o grau de eutrofização de um ambiente aquático (CETESB, 2014). A eutrofização é um fenômeno que ocorre em águas paradas, rios e mares, como consequência do aumento de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que associados às condições de luminosidade provocam o crescimento das cianobactérias, algas e outras plantas (SANTOS, 2022).

Existem três métodos para se determinar a concentração da clorofila a: espectrofotometria, fluorimetria e cromatografia líquida de alta performance (HPLC). A fluorimetria é mais sensível do que a espectrofotometria e requer um menor volume de amostra, podendo ser utilizada para determinações *in vivo*, porém, ele apresenta um alto custo. O método por cromatografia é o mais preciso, mas não é adequado para análises de rotina (BARROSO, 1998). Atualmente, o método espectrofotométrico monocromático é o mais frequentemente utilizado. Entretanto, as moléculas de clorofila não são estáveis. Dependendo das condições do meio, tais como mudanças do pH, temperatura ou luminosidade excessiva, elas podem sofrer degradação, originando produtos conhecidos como feopigmentos (CETESB, 2014).

A resolução CONAMA 357/2005, que trata de águas superficiais, estabeleceu padrões de qualidade para que o corpo hídrico seja enquadrado nas Classes 1, 2, e 3 os valores máximos permitidos para este parâmetro são 10 µg/L, 30 µg/L e 60 µg/L, respectivamente. A portaria GM/MS N.º 888/21, indica que análise de clorofila a deve ser realizada com frequência mensal, como indicador de potencial aumento da contagem de cianobactérias. Se a concentração for igual ou superior a 10 µg/L, deve-se proceder a nova coleta de amostra para análise do fitoplâncton. Entretanto, na resolução CONAMA 396/2008, não aborda o valor máximo permitido do teor de clorofila a em águas subterrâneas.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Química Ambiental (LQA), do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC).

Foram coletadas quinze amostras de águas subterrâneas provenientes de 3 municípios do Estado do Ceará das regiões Norte, Sertão Central e Oeste. Em cada município foram coletadas cinco amostras de diferentes poços entre outubro e novembro de 2021. As coletas seguiram os procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Os parâmetros selecionados para o estudo foram a determinação de: pH, condutividade, cor, turbidez, teor de clorofila a, fósforo total, nitrato e nitrito. Todas as análises foram conduzidas conforme as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), exceto a análise de nitrato onde usou-se a metodologia fornecida por Rodier (1981). As análises foram realizadas em duplicada para maior confiabilidade dos resultados.

4.1 Variáveis Físicas

4.1.1 *Determinação da cor*

A análise de cor foi feita por meio do método colorimétrico em um colorímetro de bancada. Calibrou-se o equipamento com uma solução de Platina-Cobalto, de acordo com o manual de instruções do fabricante. Foi transferido cerca de 10 mL de amostra para a cubeta e foi feita a leitura no equipamento. A leitura foi feita para cada amostra e a cubeta foi lavada com água destilada no intervalo de cada medida.

4.1.2 *Determinação da condutividade*

Para a determinação da condutividade, foi aplicado o método eletrométrico utilizando um condutivímetro de bancada. O equipamento foi calibrado com uma solução de concentração 1412 μS , seguindo o manual de instruções do fabricante. O volume de amostra foi de 50 mL, suficiente para garantir a cobertura total do diafragma. A leitura foi feita para cada amostra, lavando-se o eletrodo com água destilada entre cada medida.

4.1.3 Determinação do pH

A análise de pH foi realizada por meio do método eletrométrico, utilizando um pHmetro de bancada com eletrodo de vidro combinado. Para a realização da leitura da amostra, calibrou-se o aparelho com dois pontos (pH 4,00 e pH 7,00), conforme o manual de instruções do fabricante. O volume de amostra foi de 50 mL, suficiente para garantir a cobertura total do diafragma. A leitura foi feita para cada amostra, lavando-se o eletrodo com água destilada entre cada medida.

4.1.4 Determinação da turbidez

Para a determinação da turbidez, foi utilizado o método nefelométrico em um turbidímetro de bancada. O equipamento foi calibrado com soluções de formazina de 10, 100 e 500 NTU seguindo o manual de instruções do fabricante. Foi transferido cerca de 10 mL da amostra, cuidadosamente para uma cubeta, de modo que evitasse o aparecimento de bolhas. Após esse processo, inseriu-se a cubeta no turbidímetro para a realização da leitura. A leitura foi feita para cada amostra e a cubeta foi lavada com água destilada no intervalo de cada medida.

4.2 Variáveis Químicas

4.2.1 Determinação do fósforo

A determinação do teor de fósforo total foi realizada por meio do método ácido ascórbico 4500-PE descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

Inicialmente foi transferida uma alíquota de 10 mL da amostra, para um tubo de ensaio. Em seguida, adicionou-se 1 gota de fenolftaleína. Caso a solução apresente uma coloração rosa adiciona-se uma solução de ácido sulfúrico 2,5 mol/L até descolorir. Adicionou-se 0,2 mL da solução de ácido sulfúrico 5,5 mol/L e 0,08 g de persulfato de amônio utilizando uma espátula. Posteriormente, os tubos de ensaio com as amostras foram colocados na autoclave por 30 minutos a 121 °C. Após esfriar, foi adicionado 1 gota de fenolftaleína, a solução de hidróxido de sódio 6 mol/L até a solução apresentar coloração rosa intenso. Após esse processo, adicionou-se a solução de ácido sulfúrico 2,5 mol/L até a solução descolorir e 1,6 mL do reagente combinado. Para o preparo do reagente combinado foi adicionado 10 mL

de ácido sulfúrico 2,5 mol/L, 1 mL da solução de tartarato de antimônio e potássio $4,1 \times 10^{-3}$ mol/L, 3 mL de molibdato de amônio 0,03 mol/L, e 6 mL de ácido ascórbico 0,01 mol/L em um balão de 25 mL. Aguardou-se 10 minutos para a realização da leitura em espectrofotômetro. A Figura 10 abaixo mostra todas as etapas para a determinação do fósforo.

Figura 10 – Etapas para a determinação do fósforo



Fonte: elaborado pela autora.

A curva de calibração foi construída no equipamento, modelo Aquamate 8000, UV-Vis, sendo analisada no comprimento de onda de 880 nm. Para a construção da curva foram feitas de diluições sequenciais da solução padrão de hidrogenofosfato de potássio nas concentrações: 0,01; 0,1; 0,5; 1,0 e 2,5 mg/L. Assim, os valores das absorbâncias e suas respectivas concentrações foram plotadas em um gráfico para obtenção da equação da curva e do coeficiente de correlação.

4.2.2 Determinação do nitrato

A determinação do teor de nitrato foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Rodier (1981). Uma alíquota de 10 mL da amostra, foi transferida com o auxílio de uma pipeta volumétrica, para um béquer de 250 mL. Em seguida, adicionou-se 1 mL de solução de salicilato de sódio 0,5% (m/v), com auxílio de uma pipeta graduada, e aqueceu-se à 200 °C até a formação de um pó branco, digeriu-se o resíduo seco com 2 mL de ácido sulfúrico PA. Após a digestão, já em temperatura ambiente, adicionou-se 15 mL de água destilada e 15 mL de solução de hidróxido de sódio 10 mol/L com tartarato de sódio/potássio 0,2 mol/L.

Agitou-se e após um tempo de 10 minutos, foi realizado a leitura em espectrofotômetro e os resultados foram apresentados em mg/L de NO_3^- . A Figura 11 abaixo mostra todas as etapas para a determinação do nitrato.

Figura 11 – Etapas para a determinação do nitrato



Fonte: elaborado pela autora.

A curva de calibração foi construída no equipamento, modelo Aquamate 8000, UV-Vis, sendo analisada no comprimento de onda de 420 nm. Para a construção da curva foram feitas diluições sequenciais da solução padrão de nitrato nas concentrações: 0,05; 1,0; 5,0; 10,0 e 15,0 mg/L. Deste modo, os valores das absorvâncias e suas respectivas concentrações foram plotadas em um gráfico para obtenção da equação da curva e o coeficiente de correlação.

4.2.3 Determinação do nitrito

A determinação do teor de nitrito foi realizada por meio do método colorimétrico-4500- B NO_2^- descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

O procedimento consiste em transferir uma alíquota de 10 mL da amostra, utilizando uma pipeta volumétrica, para um tubo de ensaio. Em seguida, foi acrescentado 0,4 mL do reagente colorimétrico com auxílio de uma pipeta graduada. O preparo do reagente colorimétrico foi realizado com a mistura de 1 g de N-(1-naftil) etilenodiamina dihidroclorato e 10 g de sulfanilamida dissolvida em 100 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4), em um balão volumétrico de 1 L e aferido com água destilada. Agitou-se o tubo de ensaio, deixando-o em repouso por 10 minutos. A leitura da absorvância da amostra foi obtida em um espectrofotômetro e os resultados encontrados foram expressos em mg/L de NO_2^- . A Figura

12 abaixo mostra todas as etapas para a determinação do nitrito.

Figura 12 – Etapas para a determinação do nitrito



Fonte: elaborado pela autora.

A curva de calibração foi construída no espectrofotômetro, modelo Aquamate 8000, UV-Vis, no comprimento de onda de 520 nm e cubeta de 1 cm. Para elaboração da curva foram feitas de diluições sequenciais da solução padrão de nitrito nas concentrações: 0,05; 0,1; 0,3; 0,6 e 0,9 mg/L. Logo, os valores das absorbâncias e suas respectivas concentrações foram plotadas em um gráfico para obtenção da equação da curva e o coeficiente de correlação.

4.3 Variáveis Hidrobiológicas

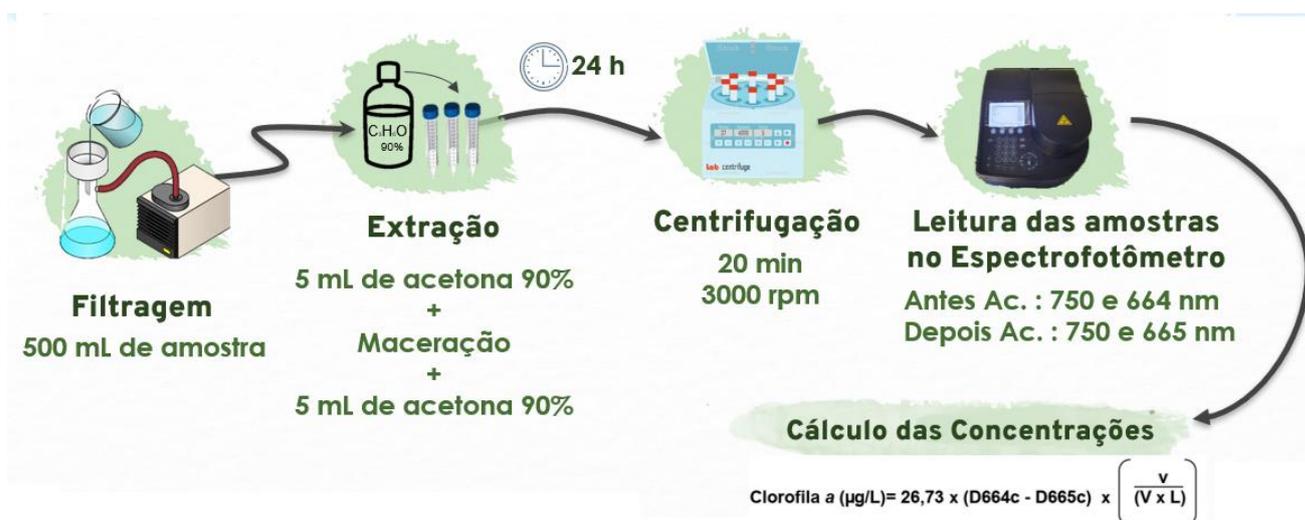
A determinação do teor de clorofila a foi realizada por meio do método espectrofotométrico-10200H descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). Essa análise deve ser feita na ausência da luz, pois as moléculas de clorofila não são estáveis, dependendo das condições do meio como a luminosidade excessiva, elas podem sofrer degradação.

Inicialmente, 500 mL da amostra foi filtrada a vácuo com papel filtro 47 mm na ausência da luz. O papel filtro foi colocado em tubos de centrífugas envoltos com papel alumínio, para proteger da luz. Para a extração dos pigmentos, adicionou-se 5 mL de acetona 90% aos tubos e macerou-se com um homogeneizador de tecidos o papel filtro, para extrair a clorofila a e adicionou-se mais 5 mL de acetona 90%. A amostra foi mantida refrigerada (em torno de 4 °C) por 24 horas.

Após a etapa de extração, os tubos foram retirados do refrigerador e centrifugados por 20 minutos a 3.000 rpm. Em seguida, a leitura das amostras foi realizada no

espectrofotômetro, modelo Aquamate 8000, UV-Vis. Adicionou-se 3 mL do sobrenadante em cubeta espectrofotométrica de 1 cm de caminho óptico. O branco foi preparado com a solução de acetona 90%. As leituras foram realizadas nos comprimentos de onda de 664, 665 e 750 nm. Primeiramente é realizado a leitura nos comprimentos de 664 e 750 nm, em seguida adiciona-se 20 µL de ácido clorídrico 0,1 mol/L. Após 90 segundos, é feita a segunda leitura nos comprimentos de 750 e 665 nm. As leituras a 750 nm, antes e depois da acidificação, medem apenas a turbidez da amostra. Essas leituras são subtraídas das densidades ópticas lidas a 664 nm antes da acidificação, e 665 nm depois da acidificação. A Figura 13 abaixo mostra todas as etapas para a determinação da clorofila a.

Figura 13 – Etapas para a determinação da clorofila a



Fonte: elaborado pela autora.

Assim, é feito um cálculo para a correção da turbidez, onde $D664c$ é a densidade óptica a 664 nm corrigida e $D665c$ é a densidade óptica a 665 nm corrigida, a partir das seguintes equações:

$$D664c = D664 - D750 \quad (1)$$

$$D665c = D665 - D750 \quad (2)$$

As concentrações de clorofila a foram obtidas a partir da seguinte equação determinada pelo método:

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g/L}) = 26,73 \times (D664c - D665c) \times (V \times L) / v \quad (3)$$

Onde:

V= Volume, em L, da amostra filtrada;

v= Volume, em mL, de acetona 90% usada para extração;

L= Caminho óptico, em cm, da cubeta espectrofotométrica usada;

D664c= Densidade óptica a 664 nm, corrigida;

D665c= Densidade óptica a 665 nm, corrigida;

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Município A

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros avaliados para as cinco amostras de águas de poços do município A localizado na região norte e os respectivos intervalos de acordo com a legislação.

Tabela 3 – Valores médios obtidos para o município localizado na região Norte

Parâmetros	Norte					CONAMA n° 396/08
	A1	A2	A3	A4	A5	GM/MS N.º 888/21
pH a 25 °C	7,3 ± 0,0	7,8 ± 0,1	7,4 ± 0,1	6,9 ± 0,1	7,3 ± 0,0	6,0 a 9,5
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1397,5 ± 2,1	3510,0 ± 70,7	3295,0 ± 21,2	5280,0 ± 14,1	5805,0 ± 21,2	***
Cor (uH)	8,5 ± 0,1	8,4 ± 0,1	12,6 ± 0,9	7,3 ± 0,3	12,4 ± 0,1	≤ 15,0
Turbidez (NTU)	5,3 ± 0,5	18,1 ± 0,3	0,5 ± 0,0	1,1 ± 0,1	2,5 ± 0,0	≤ 5,0
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	***
Fósforo total (mg L^{-1})	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	***
Nitrato (mg L^{-1})	13,5 ± 0,0	13,6 ± 0,0	< LQ	13,6 ± 0,0	13,6 ± 0,0	≤ 10,0
Nitrito (mg L^{-1})	< LQ	0,1 ± 0,0	< LQ	< LQ	< LQ	≤ 1,0

De acordo com os dados descritos na Tabela 3, verificou-se que todas as amostras apresentaram os valores de pH e de cor dentro do permitido pela legislação. Porém, em relação a turbidez, duas (A1 e A2) das cinco amostras analisadas apresentaram resultados não conforme.

Ademais, todas as amostras ficaram abaixo do limite de quantificação para as análises de fósforo total, indicando que não há poluição por derivados de detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas nos poços. Esse resultado é o esperado, pois a concentração

de fósforo total encontrada em águas subterrâneas é baixa, como mostra o estudo de GOMES (2013), das 46 amostras analisadas somente duas apresentaram resultados acima do permitido pela legislação. Para análise de clorofila a, todas as amostras se apresentaram abaixo do limite de quantificação, ou seja, não há presença de algas nos poços. Vale ressaltar que não foram encontrados dados na literatura sobre a análise de clorofila a em águas subterrâneas. Entretanto, de acordo com DE MEDEIROS (2011) os poços dessa região são profundos, ou seja, não há fatores para desenvolver a presença de organismos fotossintetizantes. Além disso, resultados obtidos no estudo de SILVA (2017) em um açude da região, mostram que durante o período de estudo, a concentração de clorofila a apresentou uma média de 17,2 µg/L, se apresentando conforme para esse parâmetro, de acordo com a CONAMA N° 357/05 para as águas de Classe 2.

Quanto ao teor de nitrato, quatro (A1, A2, A4 e A5) das cinco amostras analisadas apresentaram não conformidades. Resultados semelhantes foram obtidos no estudo de COSTA *et al.* (2012), a qual 23% das amostras da região norte apresentaram a concentração de nitrato acima do estabelecido pela legislação CONAMA N° 396/08, que pode ser atribuído a lixiviação de fertilizantes inorgânicos ou compostos orgânicos provenientes de infiltração de esgoto de fossas sépticas. O consumo dessa água antes do tratamento pode causar vários riscos à saúde ao longo do tempo, como diurese, hemorragia do baço, e em concentrações elevadas podem causar a metemoglobinemia (cianose) em crianças, doença causada pela substituição do oxigênio pelo nitrito na hemoglobina do sangue. Uma forma de tratar essa água é utilizando o processo de osmose reversa ou troca iônica, além de construir poços distante das fossas sépticas para evitar essa contaminação (DE RESENDE, 2002).

No que se refere ao teor de nitrito, apenas a amostra (NT1) não apresentou valor abaixo do limite de quantificação, contudo, todas as amostras atenderam aos valores de referência estabelecidos pela portaria GM/MS N.º 888/21 e CONAMA N.º 396/08.

5.2 Município B

A Tabela 4 apresenta os resultados dos parâmetros avaliados para as cinco amostras de águas de poços do município B localizado na região sertão e os respectivos intervalos de acordo com a legislação.

Tabela 4 – Valores médios obtidos para o município localizado na região Sertão

Parâmetros	Sertão					CONAMA N.º 396/08
	B1	B2	B3	B4	B5	GM/MS N.º 888/21
pH a 25 °C	7,3 ± 0,00	8,5 ± 0,0	7,7 ± 0,0	8,2 ± 0,0	7,5 ± 0,0	6,0 a 9,5
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1679,0 ± 46,7	1088,5 ± 7,8	2195,0 ± 49,5	1201,0 ± 11,3	1888,5 ± 41,7	***
Cor (uH)	40 ± 0,2	28,0 ± 0,1	17,3 ± 0,6	20,6 ± 1,8	23,1 ± 1,2	≤ 15,0
Turbidez (NTU)	4,9 ± 0,2	4,9 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,8 ± 0,1	1,5 ± 0,1	≤ 5,0
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	45,7 ± 1,9	28,7 ± 0,5	11,0 ± 0,5	5,8 ± 0,7	18,5 ± 1,3	***
Fósforo total (mg L^{-1})	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	***
Nitrato (mg L^{-1})	10,7 ± 0,0	12,9 ± 0,0	4,6 ± 0,0	0,8 ± 0,0	13,2 ± 0,0	≤ 10,0
Nitrito (mg L^{-1})	0,6 ± 0,0	0,9 ± 0,0	0,2 ± 0,0	< LQ	< LQ	≤ 1,0

De acordo com os dados descritos na Tabela 4, verificou-se que todas as amostras apresentaram os valores de pH dentro do permitido pela legislação. Entretanto, todas as amostras apresentaram a cor não conforme com os limites estabelecidos pela portaria GM/MS N.º 888/21, isso significa que a presença de clorofila a, incrementou cor na água. Quanto a turbidez, todas as amostras atenderam aos valores de referência estabelecidos pela portaria GM/MS N.º 888/21. Contudo, as amostras ST1 e ST2 apresentaram concentração de 4,9 NTU, a qual encontra-se próxima do limite máximo estabelecido, devido a suspensão de algas nas amostras.

Segundo CONAMA 357/2005, as águas de classe 1, que são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, devem obedecer ao valor máximo de 10 µg/L para o parâmetro de clorofila a. Logo, apenas uma (ST4) das cinco amostras estaria conforme. Para águas de classe 2, que são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, deve ser até 30 µg/L. Portanto, uma (ST1) das cinco amostras apresenta valor superior ao limite. De acordo com o estudo feito por CALVACANTE (2019), em um reservatório da região enquadrado na classe 2, duas das quatro coletas apresentaram valores elevados (81,24 e 112,45 µg/L) de clorofila a no final do ano de 2017, demonstrando uma má qualidade da água utilizada para abastecimento público, que pode ser causada por fatores antrópicos, como a pesca, o despejo de esgotos domésticos, e algumas atividades nas proximidades do açude, como a agricultura e a criação de gado. Além disso, a molécula da clorofila a pode sofrer degradação dependendo das condições do meio, como mudanças do pH, temperatura e luminosidade excessiva, podem acarretar erros na análise. Tendo isso em vista, é válido citar que, não há na literatura dados de clorofila a em águas subterrâneas. Contudo, a presença de clorofila a nesses poços podem ser justificadas de acordo com DE MEDEIROS (2011), pois os poços dessa região são rasos, ou seja, esse fator pode ter contribuído para o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes.

Todas as amostras ficaram abaixo do limite de quantificação para as análises de fósforo total, que indica que a água não está poluída por esgoto doméstico e detritos orgânicos. Esse resultado é esperado, visto que geralmente as concentrações de fósforo encontradas em águas subterrâneas são baixas, de acordo com GOMES (2013).

Em relação ao teor de nitrito, todas as amostras atenderam aos valores de referência estabelecidos pela portaria GM/MS N.º 888/21 e CONAMA 396/2008. Todavia, a amostra (ST2) apresentou concentração de 0,9 mg/L, a qual encontra-se próxima do limite máximo estabelecido, vale ressaltar que o consumo dessa água pode causar uma doença conhecida como Metahemoglobinemia ou descoloramento da pele, independentemente da idade (Alaburda e Nishihara, 1998).

Para a análise de nitrato, das cinco amostras analisadas três apresentaram valor superior ao limite, sendo impróprias para o consumo humano sem tratamento adequado. O alto teor de nitrato indica possível contaminação de origem antropogênica. Resultados semelhantes foram obtidos no estudo de ALENCAR (2019), no qual cerca de 80% e 40% dos poços da região do sertão central do Ceará, nos períodos de dezembro de 2013 e setembro de 2014

respectivamente, apresentaram a concentração de nitrato superior ao limite estabelecido na legislação (10 mg/L).

5.3 Município C

A Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros avaliados para as cinco amostras de águas de poços do município C localizado na região oeste e os respectivos intervalos de acordo com a legislação.

Tabela 5 – Valores médios obtidos para o município localizado na região Oeste

Parâmetros	Oeste					CONAMA n° 396/08
	C1	C2	C3	C4	C5	GM/MS N.º 888/21
pH a 25 °C	6,9 ± 0,0	7,7 ± 0,3	6,8 ± 0,1	6,8 ± 0,2	7,8 ± 0,1	6,0 a 9,5
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1951,5 ± 62,9	1806,5 ± 46,0	2050,0 ± 42,4	2080,0 ± 28,3	1481,5 ± 51,6	***
Cor (uH)	9,8 ± 0,3	12,0 ± 1,8	10,5 ± 0,7	11,3 ± 1,8	10,4 ± 0,0	≤ 15,0
Turbidez (NTU)	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,8 ± 0,1	0,5 ± 0,1	≤ 5,0
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	< LQ	***				
Fósforo total (mg L^{-1})	< LQ	***				
Nitrato (mg L^{-1})	13,4 ± 0,0	1,2 ± 0,0	14,0 ± 0,0	14,1 ± 0,0	13,2 ± 0,0	≤ 10,0
Nítrito (mg L^{-1})	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	< LQ	< LQ	< LQ	≤ 1,0

De acordo com os dados descritos na Tabela 5, verificou-se que todas as amostras apresentaram os valores de pH, cor e turbidez dentro do permitido pela legislação. Além disso, todas as amostras ficaram abaixo do limite de quantificação para as análises de fósforo total, indicando que não há poluição por esgoto nos poços. Esse resultado é o esperado, pois a concentração de fósforo total encontrada em águas subterrâneas é baixa, como mostra o estudo de GOMES (2013). Para análise de clorofila a, todas as amostras apresentaram abaixo do limite de quantificação, ou seja, não há presença de algas nos poços. Ademais, não foram encontrados dados na literatura sobre a análise de clorofila a em águas subterrâneas. No entanto, de acordo

com com DE MEDEIROS (2011) os poços dessa região são profundos, ou seja, não há fatores para desenvolver a presença de organismos fotossintetizantes. Além disso, resultados obtidos no estudo de BARROS (2013) em um açude próximo da região, apresentou 13,88 µg/L no último período de estudo.

Quanto ao teor de nitrato, quatro (OS1, OS3, OS4, OS5) das cinco amostras analisadas apresentaram concentração acima do valor máximo permitido. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de SILVA *et al.* (2021) próximo a região, onde a concentração de nitrato apresentou uma média de 11.60 ± 14.87 mg/L. Segundo o autor, a qualidade da água é afetada principalmente em poços localizados em áreas altamente urbanizadas e agrícolas. O alto teor de nitrato indica uma poluição antiga nas águas dessas regiões ou até mesmo o mal uso de agrotóxicos. Através de processos como deionização, destilação ou osmose reversa, é possível realizar o tratamento dessa água, contudo esses tratamentos apresentam custos elevados. Desse modo, para prevenir esse tipo de contaminação é necessário ao construir um poço o mais distante possível das fossas sépticas, minimizar a erosão, realizar o manejo do solo e utilizar inibidores de nitrificação, que diminuem a conversão de amônia a nitrato no solo (DE RESENDE, 2002).

No que se refere ao teor de nitrito, duas amostras (OS1 e OS2) não apresentaram valor abaixo do limite de quantificação, sendo assim, todas as amostras atenderam aos valores de referência estabelecidos pela CONAMA N° 396/08 e a portaria GM/MS N.º 888/21.

De acordo com os resultados obtidos de todos os municípios, foi visto que todas as amostras se apresentaram conforme, segundo suas respectivas legislações, para os parâmetros pH, fósforo e nitrito. Em relação a cor e turbidez, respectivamente, 66% e 86% das amostras estão conformes segundo a GM/MS N.º 888/21. Além disso, 93% das amostras apresentaram a concentração de clorofila a conforme para águas de Classe 2, que são águas destinadas ao consumo humano após tratamento convencional, segundo a CONAMA N.º 357/05. Em contrapartida, 73% das amostras estão com a concentração de nitrato acima do valor máximo permitido pela CONAMA N.º 396/08 e a portaria GM/MS N.º 888/21.

6 CONCLUSÃO

Em relação à condutividade, todas as quinze amostras apresentaram elevada condutividade, principalmente na região norte. Os valores da cor apresentaram valores acima do permitido em todos os poços da região do sertão, devido a presença da clorofila a. Em relação a turbidez, apenas os poços da região norte (A1 e A2) apresentaram valores superiores ao recomendado. Ademais, verificou-se que todas as amostras apresentaram os valores de pH dentro do permitido pela legislação.

A contaminação dessas águas por nitrato pode ter ocorrido pela proximidade existente entre poços originários da água e de fossas. Dessa forma, faz-se necessário a realização de um tratamento correto para essas águas. Em relação ao teor de nitrito, somente uma amostra (B2) apresentou concentração próxima do limite máximo estabelecido, que pode causar sérios problemas à saúde de seus usuários. Apesar dos valores de fósforo ficarem abaixo do limite de quantificação, o que era esperado, essa análise foi importante como indicativo de contaminação por esgoto doméstico. A presença de clorofila a, nas 5 amostras da região do sertão, pode ter sido ocasionada pela precária proteção na borda do poço ou pela baixa profundidade desses poços, visto que, nessa região é comum encontrar poços rasos. Ademais, o excesso de nitrato pode ter favorecido a proliferação dessas algas.

Tendo em vista os valores de pH a 25 °C, condutividade, cor, turbidez, teor de clorofila a, fósforo total, nitrato e nitrito, conclui-se que das quinze amostras analisadas somente duas, são águas próprias para o consumo humano, no município A (A3) e no município C (C2), de acordo com os parâmetros analisados. Portanto, vale ressaltar a importância do monitoramento e o tratamento correto dessas águas para que os padrões determinados pela legislação sejam aceitos, visando à qualidade da água e a saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas subterrâneas, o que são?**. Disponível em: < <http://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/#ind1>>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, p. 160-165, 1998.
- ALENCAR, F. K. M. de et al. Qualidade de águas subterrâneas sob embasamento cristalino em porção do sertão central cearense. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 4, 2019.
- ALMEIDA, L. de; **Hidrogeologia Conceitos Básicos**. Brasília: ANA, 2016.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes**. Brasília: ANA, 2011. 326p.
- APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.
- BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. Fifth Edition. W. H. Freeman and Company, 2012.
- BARROS, L. R. **O Índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- BARROSO, G. F.; LITTLEPAGE, J. **Protocolo para análise de clorofila a e feopigmentos pelo método fluorimétrico**. 1998.
- BECKER, H. S.; **Apostila de Controle Analítico de Águas – 7ª versão**, Fortaleza, 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021. 332p.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília: ANA, 2020. 332p.
- BRASIL. Governo Federal. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>>. Acesso em: 14 fev. 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 357/05**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/po t/conama/res/res05/res 35705.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 396/08**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores.** 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BOYD, C. E. **Water quality: an introduction.** Springer Nature, 2020.

CALVACANTE, J. F.; SILVA, E. M. F.; FERNANDES, M. C.; BUARQUE, P. M. C. **Avaliação da qualidade da água do reservatório pedras brancas através da determinação do índice de estado trófico- IET.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30^o., 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte.

CETESB. **L5.306: Determinação de Clorofila *a* e Feofitina *a*: método espectrofotométrico.** São Paulo, 2014. 14 p.

CETESB. **Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo | Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade.** São Paulo, 2017.

CLEARY, R. W. **Águas subterrâneas.** Princeton groundwater, inc. São Paulo, 2007.

CRESPIM, R. C. S. **Qualidade das águas subterrâneas rasas: estudo de caso no distrito de Icoaraci – PA.** Orientador: Paulo Pontes Araújo. 2017. 104 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, 2017.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de Informação de Água Subterrâneas – SIAGAS.** Disponível em: <http://siagas.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 fev. 2022.

COSTA, Cecília Leite et al. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil.** 2012.

DE MEDEIROS, Cleyber Nascimento et al. **Os recursos Hídricos do Ceará: integração, Gestão e potencialidades.** 2011.

DE RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E), 2002.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

FITTS, C. R. **Águas Subterrâneas.** Tradução Daniel Vieira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2^a edição, 2015.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies.** World Bank, GWMAE. Washington, 101 p., 2002.

GOMES, Maria da Conceição Rabelo. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará-Brasil como subsídio a gestão dos recursos hídricos.**

2013. 2014 f. Tese (Doutorado em geologia)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2013.

HIRATA, R. SUHOGUSOFF, A. MARCELLINI, S. VILLAR, P. MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, 2019.

KARAMOUZ, M.; AHMADI, A.; AKHBARI, M. **Groundwater hydrology: Engineering, planning, and management**. CRC press, 2020.

KURODA, E. K. et al. **Determinação de clorofila pelo método espectrofotométrico visando o monitoramento da eficiência do tratamento de águas para abastecimento**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016. 640 p.

LIU, David HF; LIPTÁK, Béla G. (Ed.). **Groundwater and surface water pollution**. CRC Press, 1999.

MMA – SRHU. Ministério do meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas Subterrâneas, um recurso conhecido a ser protegido**. Brasília, 2007.

MONTEIRO, I. H; CAMPOS, S. C. S; FERNANDES, F. C. F; SOARES, A. C; ALMEIDA, M. A. Z; CHARMEL, L. C. L. **Avaliação físico-química e bacteriológica da água oferecida em bebedouros de instituições de ensino do município de Rio Casca – MG**. I Seminário Científico da FACIG, 2015.

RODIER, J. **Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar, química, fisicoquímica, bacteriología, biología**. 1981.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. Eutrofização. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/biologia/eutrofizacao.htm>. Acesso em 15 jan. 2022.

SILVA, F. V. da; **Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas Por Atividade Cemiterial na Cidade de Maceió**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2013.

SILVA, L. M. L.; Freitas, F. R. S. **Avaliação do grau de trofia e da qualidade sanitária do reservatório Sobral na bacia do rio Acaraú – CE**. 2017.

SILVA, M. I. et al. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. **Journal of Hydrology**, v. 598, p. 126346, 2021.

SOUSA, Rafaela. Rio São Francisco. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/brasil/rio-sao-francisco.htm>. Acesso em 14 jan. 2022.

STREIT, Nivia Maria et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, 2005.

ZELENAKOVA, M. **Management of Water Quality and Quantity.** Springer International Publishing, 2020.