



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCIANO DE OLIVEIRA SILVA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ABASTECIMENTO
PÚBLICO: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE ALTO DO FERRÃO, EM
ITAIÇABA-CE.**

RUSSAS
2021

LUCIANO DE OLIVEIRA SILVA

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ABASTECIMENTO
PÚBLICO: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE ALTO DO FERRÃO, EM
ITAIÇABA-CE.

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

Orientador: Prof. Me. Daniela Lima Machado
da Silva.

RUSSAS

2021

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)

S581a Silva, Luciano de Oliveira.
Análise da qualidade da água subterrânea para abastecimento público : estudo de caso na comunidade Alto do Ferrão, em Itaiçaba-CE. / Luciano de Oliveira Silva. – 2021.
55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Civil, Russas, 2021.

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

1. Águas subterrâneas. 2. Abastecimento público. 3. Qualidade da água. I. Título.

CDD 620

LUCIANO DE OLIVEIRA SILVA

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ABASTECIMENTO
PÚBLICO: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE ALTO DO FERRÃO, EM
ITAIÇABA-CE.

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

Aprovado em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Daniela Lima Machado da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Samiria Maria Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Ms. Amanda Paiva Farias
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

AGRADECIMENTOS

À UFC, pela oportunidade de ingressar no ensino superior público e de qualidade.

À Prof. Ms. Daniela Lima Machado da Silva, pela prontidão e ótima orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Samiria Maria Oliveira da Silva e Amanda Paiva Farias pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus pais, pelo apoio durante todos esses anos durante a graduação.

Ao meu amigo Filipe, por ter me apoiado e me dado forças durante todos esses anos de faculdade.

Aos meus amigos Cristina e Erasmo, pelo apoio logístico e na coleta das amostras.

À técnica do laboratório de saneamento Patrícia, pelo auxílio com as análises.

À minha amiga Ilane, pela ajuda com as revisões e correções do texto.

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”

José Guimarães Rosa

RESUMO

No Brasil, as águas subterrâneas são exploradas por meio de poços conhecidos popularmente como poços artesianos ou semiartesianos. A exploração desse recurso tem aumentado cada vez mais devido as necessidades de abastecimento e facilidade de exploração. Grande parte da população brasileira não tem acesso a água encanada levando-as a recorrer a este recurso. Contudo, surge a preocupação de investigar a qualidade dessas águas, tendo em vista que podem estar contaminadas pela ação antrópica ou não possuir qualidade natural para consumo sem tratamento prévio. Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água subterrânea na comunidade Alto do Ferrão em Itaiçaba-CE. Para o diagnóstico da água consumida na comunidade, foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológico, de acordo com a investigação mínima realizada pela companhia de água do estado. A pesquisa foi realizada em duas campanhas de coleta de água para posteriormente determinar os parâmetros e avaliar a existência do tratamento disponível. Pode-se perceber que os parâmetros de pH e sólidos totais dissolvidos estavam de acordo com a legislação vigente enquanto turbidez e cor ultrapassaram o limite estabelecido por norma. Na análise microbiológica, foi constatada a presença de coliformes totais na água. Com relação ao tratamento existente, este é constituído apenas do processo de filtração. Portanto, pode-se concluir que a água disponível não é indicada para consumo na sua forma bruta ou com o sistema de tratamento atual.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Abastecimento público. Qualidade da água.

ABSTRACT

In Brazil, groundwater is explored through wells popularly known as artesian or semi-artesian wells. The exploitation of this resource has increased more and more due to the low cost invested in the extraction of water in the subsoil. A large part of the Brazilian population does not have access to piped water, leading them to resort to this resource. However, there is a concern to investigate the quality of these waters, considering that they may be contaminated by anthropic action or not have natural quality for consumption without prior treatment. This work aimed to analyze the quality of groundwater in the Alto do Ferrão community in Itaíçaba-CE. For the diagnosis of water consumed in the community, physical-chemical and microbiological parameters were analyzed, according to the minimum investigation carried out by the state water company. The research was carried out in two water collection campaigns to later determine the parameters and evaluate the existence of the available treatment. It can be seen that the pH parameters and total dissolved solids were in accordance with the current legislation while turbidity and color exceeded the limit established by the norm. In the microbiological analysis, the presence of total coliforms in the water was found. With respect to the existing treatment, it consists only of the filtering process. Therefore, it can be concluded that the water available is not suitable for consumption in its raw form or with the current treatment system.

Keywords: Groundwater. Public water supply. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da estrutura do SINGREH.....	18
Figura 2 - Mapa de localização do município de Itaiçaba.....	31
Figura 3 – Localização dos pontos de coleta.....	33
Figura 4 – Acondicionamento das amostras para envio ao laboratório.	34
Figura 5 – Coleta e materiais utilizados na higienização da saída da bomba.	35
Figura 6 – Alteração colorimétrica da amostra indicando a presença de coliformes totais.	41
Figura 7 – Filtros centrais utilizados no tratamento simples.....	43
Figura 8 – Depósito de areia retirado do reservatório.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação entre precipitação média anual e evapotranspiração média anual nos municípios do Vale do Jaguaribe.....	20
Gráfico 2 – Representação da variação do pH e comparação com legislação.	37
Gráfico 3 – Valores de cor obtidos e comparação com o limite máximo.	38
Gráfico 4 – Valores de turbidez encontrado e comparação com legislação	39
Gráfico 5 – Valores obtidos para sólidos totais	40

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 – Classificação das águas subterrâneas.....	27
Quadro 1 – Contaminantes comuns da água subterrânea e fontes de poluição.....	23
Quadro 2 – Parâmetros e métodos utilizados nas análises.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CPRM	Sistema Integrado de Bibliotecas
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo Geral.....	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Gestão das águas para o abastecimento público	16
2.1.1 No Brasil	16
2.1.2 No Ceará	19
2.1 Panorama hidrológico do Vale do Jaguaribe	19
2.3 Usos e poluição da água	22
2.4 Qualidade da água	24
2.5 Parâmetros de qualidade.....	25
2.5.1 pH	26
2.5.2 Sólidos totais dissolvidos	27
2.5.3 Turbidez	28
2.5.4 Cor	28
2.5.5 Coliformes totais	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Caracterização da área de estudo	31
3.2 Metodologia de pesquisa	32
3.3 Procedimento de coleta	33
3.4 Parâmetros analisados	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1 Parâmetros Físico-Químicos.....	37
4.1.1 pH	37
4.1.2 Cor aparente	38
4.1.3 Turbidez	39
4.1.4 Sólidos totais dissolvidos (STD)	40
4.2 Análise microbiológica.....	41
4.3 Avaliação do sistema de abastecimento.....	43
5 CONCLUSÃO	46
5.1 Sugestão de trabalhos futuros	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas têm se tornado um recurso amplamente utilizado por parte da população brasileira que veem nessa alternativa uma maneira de contornar a seca que assola regiões onde há escassez de água superficial. Em consequência do baixo custo, facilidade de perfuração de poços para captação de água em aquíferos livres e menos sujeita à contaminação em comparação com as águas superficiais.

Em um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (2018) 52% das cidades brasileiras utilizam águas subterrâneas para o abastecimento público. Outro número que chama atenção para a importância das águas subterrâneas é a parcela da população não assistida pela rede de abastecimento público. No Brasil, cerca de 35 milhões de pessoas não têm acesso a água encanada em suas residências (SNIS, 2016). Desse modo, são mais de 35 milhões de brasileiros sem acesso à água tratada, fazendo com que a maior parte dessa população marginalizada recorra a águas de fonte subterrâneas através de poços tubulares ou escavados. Desta maneira, as águas subterrâneas vêm atendendo às populações socialmente mais vulneráveis e pobres no país.

Considerando que as águas subterrâneas apresentam geralmente condições de qualidade natural boa para uso, devido ao contato com materiais geológicos atuando como filtro, na maior parte das vezes dispensa o tratamento após a extração. Porém, é perigosa a ligação entre a qualidade das águas subterrâneas e a ausência de saneamento básico, uma vez que falta ou ineficácia de saneamento é uma das principais causas da contaminação de aquífero (VARNIER *et al.*, 2018).

Além da contaminação de origem antrópica, a qualidade da subterrânea está atrelada à formação geológica na qual está armazenada. Em termos hidrogeológicos, a água armazenada em domínios de rochas cristalinas é, na maior parte das vezes, salinizada, em função da baixa circulação (CPRM, 1998). Portanto, poços localizados em áreas cristalinas, geralmente, captam águas com alto teor de sais (GOMES, 2005).

Itaiçaba é um município localizado próximo às margens do rio Jaguaribe e possui rede de distribuição de água tratada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), entretanto, a comunidade Alto do Ferrão, onde foi realizado o estudo não dispõe de esgotamento sanitário nem de água tratada distribuída pela companhia para a população, fazendo com que estes façam uso de fossas sépticas para despejo de efluentes e busquem nas águas subterrâneas fonte para o suprimento de água. A comunidade local faz ainda, o despejo de efluentes

domésticos em valas no solo, contribuindo para o aumento da carga poluidora na drenagem e nos aquíferos.

O monitoramento das condições das águas subterrâneas serve como um instrumento que permite o conhecimento mais aprofundado da qualidade destes recursos. Tendo em vista que a utilização de programas de acompanhamentos auxilia na tomada de decisão dos órgãos gestores, fornecendo informações para o controle, desenvolvimento e melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Portanto, o objetivo deste trabalho é fornecer subsídios que auxiliem na tomada de decisões quanto aos termos de qualidade da água a partir de dados de análises das águas subterrâneas na comunidade Alto do Ferrão em Itaiçaba-CE, em conjunto com o diagnóstico dos parâmetros de qualidade analisados e avaliação do sistema de tratamento existente, buscando identificar medidas que permitam o melhor aproveitamento desse recurso.

1.1 Objetivo Geral

Analisar a qualidade da água subterrânea destinada ao abastecimento da comunidade Alto do Ferrão no município de Itaiçaba-CE.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológico;
- b) Identificar as possíveis causas de contaminação de acordo com os resultados das análises;
- c) Comparar os resultados obtidos com exigidos na legislação ambiental brasileira;
- d) Identificar e diagnosticar os meios de tratamento existentes e sugerir medidas para adequação de forma tornar água potável para consumo humano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gestão das águas para o abastecimento público

O Brasil possui grande disponibilidade hídrica, concentrando cerca de 12% da água doce do mundo. Dentro do território brasileiro estão incluídas três grandes bacias hidrográficas que são a Bacia Amazônica, a Bacia do Rio da Prata e a Bacia do Rio São Francisco além do aquífero Guarani, o segundo maior aquífero do mundo (TUNDISI, 2014).

Embora o país possua grande disponibilidade de água potável, a Agência Nacional das Águas – ANA destaca que a sua distribuição é bastante irregular. A região Norte concentra 80% da quantidade da água doce disponível ao passo que a disponibilidade na região Nordeste é inferior a 3% (ANA, 2019). A irregularidade fica evidenciada quando estes dados são comparados com a distribuição da população brasileira dentre as regiões. A região Norte concentra 8,8% da população enquanto a região nordeste representa 27,8% ano de 2019 (IBGE, 2019).

Neste cenário, a gestão de recursos hídricos se apresenta como um mecanismo de controle, regulamentação e fiscalização do uso dos corpos hídricos. Esse mecanismo tem como objetivo otimizar a utilização destes recursos bem como a preservação para garantir de forma satisfatória a qualidade e quantidade deste bem natural. (GAMA, 2009).

No caso específico das águas subterrâneas, a gestão é ainda mais complexa. Ao contrário das águas superficiais, o recurso hídrico subterrâneo não está visível. Uma carga poluidora em um rio ou lago é facilmente identificável, enquanto o manancial subterrâneo pode ser contaminado lentamente ao longo dos anos. Sendo assim, a natureza escusa desse recurso encobre sua importância social, econômica e ambiental bem como, dificulta o diagnóstico sobre sua situação e implementação de políticas públicas.

2.1.1 No Brasil

A Lei das Águas, como ficou conhecido a Lei 9.433/1997, tem como objetivos principais assegurar à atual e futuras gerações o acesso à água disponível em padrões e quantidades adequadas aos seus diversos usos. A lei sancionada em 1997 dispõe dos principais artificios para o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil (BRASIL, 1997).

Segundo Ferreira (2008), a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH instituída pela Lei Federal 9.433/1997 surge como um dos principais de instrumentos da legislação à cerca do direito e uso das águas. À luz de Tucci (2001), a descentralização da gestão

da água prevista pela lei promoveu a integração da gestão pela participação da sociedade e poder público.

Os instrumentos de gestão das águas estabelecidos pela PNRH propõem soluções que minimizem os conflitos e impactos causados pelo uso da água, tendo em vista que possui múltiplos usos e interesses (ANA, 2013). Sendo assim, o Art. 5 da lei 9.433 estabelece quais os instrumentos necessários à gestão das águas. Dentro destes instrumentos, destaca-se o inciso número II, pontuando: “o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água” (BRASIL, 1997).

Para Pessôa (2013), o enquadramento das águas subterrâneas em classes de uso tem como objetivo estabelecer um determinado nível de qualidade. A resolução CONAMA 396/08 define o enquadramento como metas estabelecidas para que as águas subterrâneas atinjam ou mantenham determinada qualidade de água para qual se destina o seu uso. A resolução estabelece também as diretrizes para esse enquadramento.

Ainda de acordo com a resolução supracitada, a água captada de mananciais subterrâneos só poderá ser destinada ao abastecimento para consumo humano de acordo com a classe em que se encontra. As águas que forem captadas de fontes subterrâneas que se enquadram na Classe Especial são destinadas à preservação integral; as de Classe I não tem alteração de qualidade por atividades antrópicas e não exigem tratamento quaisquer; as de Classe II, sem alteração de qualidade e pode exigir tratamento dependendo do uso e as de Classe III, com alteração da qualidade por atividades antrópicas e pode exigir tratamento em função do uso. Os mananciais que se enquadrem na Classe IV são aquíferos com alteração da qualidade por atividades antrópicas e que só podem ser usadas, sem tratamento para usos menos restritivos. Águas enquadradas na categoria V são aproveitadas para usos menos exigentes sem requisitos de qualidade (CONAMA, 2008).

A Lei das Águas institui ainda o SINGREH – Sistema Nacional de Recursos Hídricos, responsável pela implementação da PNRH. Trata-se de um conjunto de órgãos colegiados, que integram o sistema (BRASIL,1997):

- a) o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- b) a Agência Nacional de Águas;
- c) os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;
- d) os Comitês de Bacia Hidrográfica;

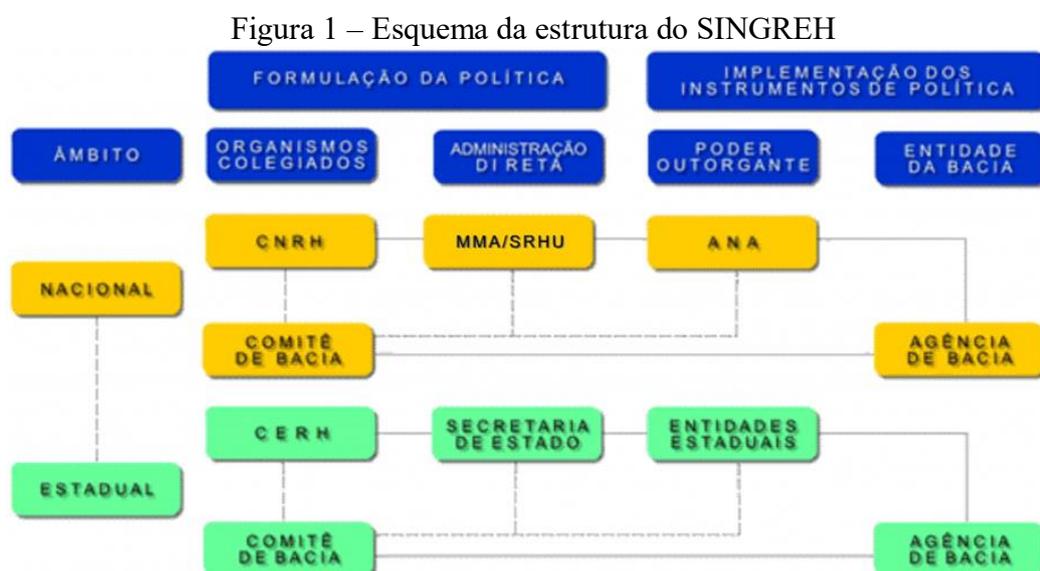
e) os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;

f) as Agências de Água.

Conforme o inciso V do Art. 1 da lei “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”, portanto, as decisões tomadas para utilização dos corpos de água são tomadas com base no comitê de bacia hidrográfica na qual está inserido o manancial (BRASIL, 1997).

Dessa forma, os comitês de bacia hidrográfica são órgãos colegiado que tem o papel de elaborar e executar os planos para bacia, além de estabelecer os valores e a cobrança pelo uso da água, integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRAGA, 2015).

Na Figura 1 é apresentado o esquema institucional do SINGREH. Nela, é possível entender a estrutura da gestão de recursos hídricos.



Fonte: <https://www.eosconsultores.com.br/como-funciona-gestao-de-recursos-hidricos-no-brasil/> (2020, p. 01)

A legislação considera que as águas possuem dois domínios: federal e estadual. As águas federais são aquelas que cruzam a fronteira com mais de um estado enquanto as estaduais permaneçam apenas dentro do limite de um estado da federação. Desse modo, os planos para implementação da política dos recursos hídricos são elaborados na escala nacional, estadual e da bacia hidrográfica (TUCCI, 2001; BRAGA, 2015).

2.1.2 No Ceará

No âmbito estadual, o governo do estado do Ceará, cria em abril de 1987 a Secretaria de Recursos Hídricos – SRH com o objetivo de

“promover o aproveitamento racional e integrado dos Recursos Hídricos do Estado; coordenar, gerenciar e operacionalizar estudos, pesquisas, programas, projetos, obras, produtos e serviços referentes a recursos hídricos e promover a articulação dos órgãos e entidades estaduais do setor com os órgãos e entidades federais e municipais” (CEARÁ, 1987, p. 01).

Posteriormente, em 1992, a Lei Nº 11.996/1992 institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SINGERH e dá outras providências (CEARÁ, 1992). A Secretaria Estadual de Recursos Hídricos é a responsável pela implementação das políticas de gestão de recursos hídricos. Fazem parte também do SINGERH o Conselho de Recursos Hídricos do Ceará – CONERH; Comitês de Bacias Hidrográfica; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH; Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA (CEARÁ, 2020).

No estado do Ceará, por meio da Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) e com execução da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), desenvolve projetos voltados para as águas subterrâneas. Os aquíferos são monitorados por meio de 64 estações de monitoramento quantitativo que armazenam dados de vazões, níveis estáticos e fazem o acompanhamento desses dados durante o ano todo. A companhia também realiza estudos para monitoramento da qualidade em cada região do Ceará.

2.1 Panorama hidrológico do Vale do Jaguaribe

O Vale do Jaguaribe é uma região socioeconômica localizada no interior do estado do Ceará. A região possui uma área aproximadamente de 15.000 km² e é composta pelos municípios de Alto Santo, Ererê, Iracema, Jaguaritama, Jaguaribara, Jaguaribe, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Pereiro, Potiretama, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. De acordo com o Instituto de Pesquisa Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (2017), as principais características da região são “das planícies ribeirinhas, da chapada do Apodi, da planície litorânea, dos tabuleiros costeiros e dos sertões”.

A maior parte do Vale do Jaguaribe está inserido nas sub-bacias do médio e baixo Jaguaribe. O Rio Jaguaribe constitui-se como o principal corpo hídrico banhando todo o vale. Tem sua nascente localizada em Tauá-CE e percorre uma distância de 600km até desaguar na

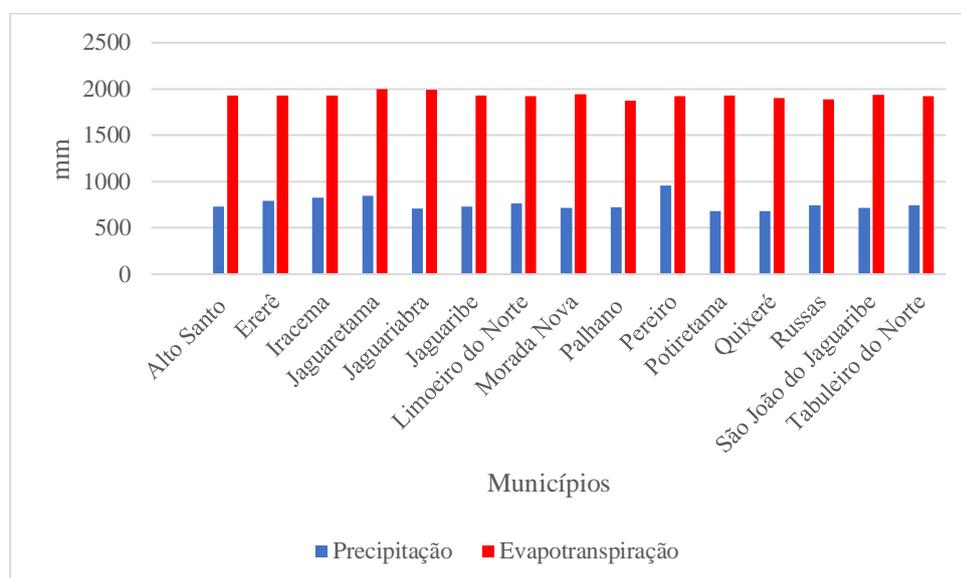
sua foz entre os municípios de Fortim e Aracati (ANA, 2017). Destaca-se como sendo o seu principal afluente à margem esquerda no baixo Jaguaribe, o rio Palhano (CEARÁ, 2009).

O clima no Ceará é definido por um regime de precipitação marcado pela heterogeneidade na distribuição espacial e temporal das chuvas (SOUZA FILHO, 2018). A região Jaguaribana apresenta precipitação média anual de 774,7 mm enquanto a região metropolitana acumula uma média anual de 1083,8 mm (FUNCEME, 2020).

Além do regime pluviométrico irregular, a temperatura é quase sempre muito elevada, com uma média variando entre 26 e 29° C (MMA, 2020). Essas condições trazem consigo uma alta taxa de evapotranspiração média anual de 1.930 mm/ano enquanto a precipitação média é inferior a 800 mm anuais (FUNCEME, 2017).

A relação entre a precipitação e a elevada evapotranspiração é o que caracteriza a semiaridez (SOUZA FILHO, 2018). Desse modo, todos os municípios da região Jaguaribana são caracterizados pelo clima semiárido dado a relação exposta no Gráfico 1 (FUNCEME, 2017).

Gráfico 1 – Relação entre precipitação média anual e evapotranspiração média anual nos municípios do Vale do Jaguaribe



Fonte: Adaptado de FUNCEME, 2017.

Para Rebouças (2008), o problema do ciclo hidrológico nas regiões semiáridas não é que chove pouco, mas que evapora muito. Dessa maneira, mesmo que as chuvas ocorressem de maneira regular, o calor e a alta taxa de evaporação descompensa o nível de precipitação anual.

A despeito do que defende Dantas (2017), acredita-se que o déficit hídrico é causado por uma combinação de fatores o que leva a escassez hídrica em regiões semiáridas onde se insere o vale do Jaguaribe. A variabilidade pluviométrica associada a altos índices de evaporação e solos com pouca capacidade de armazenamento de água resultam em um balanço hídrico negativo.

O Ceará é considerado como sendo um território escasso em água subterrânea. A formação geológica cristalina é o principal condicionante para ocorrência de águas subterrâneas no estado. A profundidade relativamente baixa do solo cristalino limita a acumulação de água no subterrâneo (SOUZA FILHO, 2018).

Ainda de acordo com o autor o domínio sedimentar, em que as características hidrogeológicas favorecem o armazenamento de água, ocorre principalmente na região do Cariri, na região litorânea e na chapada do Apodi. Nesta última, estão situados parte dos municípios da região Jaguaribana que são Alto Santo, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte e Quixeré (SANTIAGO *et al.*, 2008).

O aquífero Jandaíra, sob a cobertura sedimentar da chapada do Apodi, é do tipo livre e forma um meio propício à armazenagem de água, diferentemente das rochas cristalinas onde há resistência a infiltração. Contudo, aquíferos dessa natureza são mais fáceis de serem contaminados (COGERH, 2018). Além disso, a formação Jandaíra apresenta altos índices de carbonatos tornando a água dura e imprópria para o abastecimento urbano. Suas águas são usadas na maioria das vezes para irrigação (OLIVEIRA, 2016), à exemplo de Quixeré que destina 67,62% da água coletada do aquífero à fruticultura irrigada (CRUZ *et al.*, 2012).

No intuito de atenuar os impactos causados pela baixa oferta hídrica tanto superficial quanto subterrânea, a construção de reservatórios de regularização é a principal estratégia adotada pelo poder público (LIMA, 2020). A construção do açude Castanhão, na bacia do Jaguaribe, elevou significativamente a capacidade de armazenamento hídrico no estado do Ceará (IPECE, 2011).

O Reservatório Castanhão tem a maior capacidade de armazenamento na bacia, com volume de 6,7 bilhões de m³. Vale ressaltar que o açude é responsável por alimentar o canal da integração, que abastece a região metropolitana de Fortaleza, além de perenizar o Rio Jaguaribe. Dos diversos açudes existentes no vale do Jaguaribe, a maioria tem usos essencialmente rurais, por serem de menor porte (ANA, 2017).

Acerca do abastecimento urbano, o suprimento da maior parte dos municípios do vale do Jaguaribe vem da captação superficial de cursos ou corpos de água e uma pequena parcela provém da captação de poços. Os mananciais superficiais abastecem 73% dos

municípios enquanto as águas subterrâneas abastecem integralmente 27% do total (CAGECE, 2019).

2.3 Usos e poluição da água

A discussão acerca da disponibilidade de água não se encerra tampouco na oferta limitada em algumas regiões do país. O crescimento populacional acelerado e desordenado, aumenta a pressão sobre os recursos hídricos, seja pela expansão da agricultura, pelo uso na indústria ou pelo lançamento de efluentes domésticos. Os impactos causados pela ação antrópica resultam na degradação e poluição das águas. (RIBEIRO; CATALÃO; FONTELES, 2014).

Von Sperling (1996) define a poluição das águas “como a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d’água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos”.

A geração da poluição abrange uma complexidade de relações entre os vários fatores envolvidos nas diferentes atividades humanas. Deve-se destacar que as formas cujo as fontes poluidoras contaminam um corpo hídrico pode acontecer de maneira pontual ou difusa. A primeira indica que o lançamento do poluente ocorre em um ponto específico de descarga, ou seja, acontece de maneira concentrada. Na poluição difusa, as fontes se caracterizam por adentrar o corpo d’água ou manancial subterrâneo mediante uma ampla área de contribuição (VON SPERLING, 1996).

No caso de mananciais subterrâneos, quando comparados aos mananciais superficiais, possuem capacidade de recuperação até dez vezes menor quando contaminados. Dependendo do tipo de poluente, alguns efeitos podem ser irreversíveis, por exemplo, a contaminação por solventes (TUCCI; CABRAL, 2003).

As formas mais comuns de poluição das águas são pelos despejos de esgotos sem o devido tratamento, pelas atividades agrícolas e lançamento de efluentes industriais. Agricultura é a principal responsável pela contaminação dos mananciais em regiões de intensa produção agrícola. O escoamento superficial dos nutrientes, especialmente fósforo e potássio, percolam pelo subsolo e contaminam os aquíferos, provocando alteração no sabor e odor da água para o abastecimento público (ANA, 2013). O tipo de contaminante varia conforme a atividade com potencial de poluição, como pode ser visto no Quadro 1.

Origem da poluição	Tipo de contaminante
Agricultura	Nitrato, amônia, pesticidas, organismo fecais
Saneamento <i>in situ</i>	Nitrato, hidrocarbonetos, microorganismo
Postos de gasolina	Hidrocarbonetos, benzeno, fenóis
Depósito de resíduos sólidos	Amônia, salinidade, metais pesados
Despejo de lodo de esgoto	Nitrato, amônia, chumbo, zinco

Fonte: Adaptado de Manzione, 2015.

Smith e Schindler (2009) destacam que a eutrofização é um dos principais problemas que podem afetar a água superficiais na atualidade. Os autores afirmam ainda que a eutrofização fornece as condições para o desenvolvimento de florações de cianobactérias. Conforme Oliveira (2017), as cianobactérias estão relacionadas com a produção de substâncias tóxicas chamadas de cianotoxinas. Em 1996, a exposição de 126 pacientes à água contaminada com microcistinas, resultou na morte de aproximadamente 60 pessoas em Caruaru-PE.

A poluição das águas devido, principalmente, a insuficiência ou inexistência de coleta e tratamento de esgotos sanitários, associada à falta de ações para proteção dos mananciais, contribui para a diminuição da oferta de água para abastecimento público. De acordo com o diagnóstico elaborado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2018), apenas 53,2% dos brasileiros possuem sistema de coleta de esgotos. Isso significa que 98 milhões de brasileiros fazem o despejo do esgoto bruto em córregos e lagos.

O lançamento de esgotos em rios, lagos, córregos e mares *in natura*, ou seja, sem o tratamento prévio, compromete a qualidade e os usos das águas, causando implicações prejudiciais à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente.

Na indústria, a água pode ser utilizada de diversas maneiras, como na fabricação dos produtos, limpeza dos pisos e tubulações, consumo humano e lavagem de veículos. As características das águas residuárias são inerentes à composição da matéria prima, ao processo de fabricação e à fonte de abastecimento. Contudo, devido à grande diversidade de indústrias existentes, a variabilidade de contaminantes lançados na água se torna maior, incluindo metais pesados e outros componentes tóxicos (SÃO PAULO, 2017).

Alguns metais pesados podem ser altamente tóxicos. Deste modo, os esgotos que contenham tais substâncias não podem ser despejados na natureza sem o devido tratamento. Os metais pesados também reduzem a capacidade de recuperação da água devido a toxicidade, caracterizando o processo de eutrofização (AGUIAR, 2002). Além disso, a ingestão de água ou animais contaminados com cádmio, chumbo ou mercúrio implica em danos à saúde. Em casos extremos, pode levar a morte (ROCHA, 2009).

Convém lembrar que de modo geral os sistemas de tratamento convencionais de água não conseguem remover substâncias complexas (agrotóxicos, nitratos, nitritos, metais pesados entre outros) presentes na água. Para tanto, são necessários análises específicas para cada produto gerado.

2.4 Qualidade da água

Para Agarwal (2009), o termo qualidade de água está intimamente ligado a poluição da água, sendo água poluída aquela que possui mais aspectos negativos do que positivos. Na concepção de Sousa *et al.* (2014), o conceito de qualidade da água é relativo ao uso a qual se destina.

A caracterização da qualidade de água se pode ser realizada através de parâmetros físicos, químicos e biológicos. As características físicas incluem temperatura, cor e outras qualidades semelhantes. As características químicas incluem a quantidade de substâncias orgânicas ou inorgânicas dissolvidas na solução. As características biológicas indicam a presença de microrganismos que estão presentes na água (AGARWAL, 2009).

Ao tratar da questão da qualidade da água, é preciso levar em consideração que os parâmetros indicadores da qualidade precisam estar em conformidade para o uso, ou seja, abaixo do limite estabelecido (ANA, 2013). A qualidade requisitada é definida na legislação em função do tipo de uso. (VON SPERLING, 1996).

A resolução do CONAMA 357/05, como já foi mencionado, estabelece os padrões para o lançamento de efluentes em um corpo receptor além dos padrões de qualidade do corpo. (CONAMA, 2005). Von Sperling (1996) acredita que ambos os padrões estão correlacionados, de forma que, o despejo de efluentes em ambiente aquático atenda aos padrões de lançamento para que o corpo hídrico se enquadre dentro dos padrões estabelecidos pela resolução.

Os padrões de potabilidade estão relacionados com a qualidade da água para consumo humano. Logo, a qualidade fornecida ao usuário é tomada como base diretamente no próprio domicílio do consumidor (VON SPERLING, 1996).

As diretrizes a respeito dos procedimentos e o controle da qualidade da água estão estabelecidas na portaria nº 2.914 de 2011 do ministério da saúde. A portaria é responsável por atribuir os parâmetros químicos, físicos e biológicos para o controle de qualidade. A portaria se aplica a toda água destinada ao consumo humano, independente do sistema de abastecimento (BRASIL, 2011).

No que tange a qualidade da água e o sistema de abastecimento, é importante verificar o grau de satisfação do usuário quanto ao serviço oferecido a população, ou seja, a

aceitação pela água ofertada. Lima et al. (2017) constatou que a presença de tratamento da água influencia diretamente a satisfação do usuário quanto as propriedades organolépticas. A satisfação do usuário com a qualidade da água é importante para que em casos de descontentamento com a água oferecida, este não busque por outras fontes de abastecimento que possam estar contaminadas e oferecer-lhe riscos à saúde (REIS; BEVILACQUA; CARMO, 2014).

As alterações na qualidade das águas têm reflexos na economia que se expressa no aumento de custos hospitalares com internações relacionadas às doenças transmitidas pela água. A Organização Mundial da Saúde – OMS (2014) afirma que para cada 1 real investido em serviços de saneamento básico, 9 são retornados na forma de redução de custo com as intervenções hospitalares no tratamento de doenças, principalmente diarreia. Em 2011, essa proporção era de 1 real investido para 4 reais retornados.

O tratamento prévio da água atendendo as condições de potabilidade pode ser bastante benéfico a saúde pública. Uma estimativa elaborada pela OMS constatou que o tratamento prévio da água foi eficaz na redução dos índices de morbidade por diarreia e outras doenças transmitidas pela água (ANA, 2013).

Vale ressaltar que os parâmetros utilizados na determinação dos índices de qualidade da água são nacionais, mas em que sua maioria são baseados em padrões de outros países, o que cria um déficit na representação das características naturais das águas dos mananciais brasileiros. Portanto, compreender o funcionamento dos parâmetros para caracterização da qualidade da água e em que são baseados é de suma importância para atender a população com água de qualidade e promover a preservação deste recurso (PASSOS; MUNIZ; OLIVEIRA FILHO, 2018).

2.5 Parâmetros de qualidade

O controle efetivo da qualidade da água tratada é exigido pela portaria MS nº. 2914/2011 por meio de análises da água em laboratório. Como já mencionado, a qualidade das águas é representada por diversos parâmetros que indicam suas características físicas, químicas e biológicas.

Os parâmetros a serem investigados em uma análise de água dependem do tipo da utilização. Quando se trata da água para abastecimento humano, a origem do manancial (superficial ou subterrâneo) e a condição de tratamento (tratada ou bruta) condiciona a escolha dos parâmetros. Para águas superficiais tratadas, as análises mais frequentes são cor, turbidez, sabor e odor, pH, nitrogênio e coliformes totais (VON SPERLING, 1995).

2.5.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH), representa a concentração de íons de hidrogênio presentes numa solução. Essa concentração corresponde ao logaritmo inverso dos íons de hidrogênios, que varia de 0 a 14 (FUNASA, 2014). Uma solução é considerada ácida quando o valor do pH é superior a 7 e básica quando inferior. Para pH igual a 7, a solução é dita como neutra (ATIKINS; JONES, 2012).

O pH é importante no equilíbrio químico dos vários processos que ocorrem nos ecossistemas influenciando diretamente na fisiologia de diversas espécies (CETESB, 2018). Nas estações de tratamento de água tem influência direta nos processos de tratamento, melhorando a coagulação e floculação que a água sofre inicialmente (FUNASA, 2013).

Nos ecossistemas aquáticos, a influência do pH dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia dos peixes, alterando a capacidade reprodutiva de algumas espécies e, em casos extremos de diminuição do pH, ocasiona a mortandade dos peixes (CORREIA, 2008). Gabriel (2014) aponta como principais causas da variação do pH das águas subterrâneas a dissolução gás carbônico, embora a contaminação por despejos de efluentes em cursos de águas superficiais afetem os mananciais subterrâneos, tendo em vista que estes são os principais responsáveis pela recarga dos aquíferos.

À vista disso, as limitações das faixas de pH são definidas para as diferentes classes de águas na natureza conforme a legislação federal. A Portaria nº 2914/2011 do ministério da saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões de potabilidade (BRASIL, 2011).

Segundo a ANA (2016) o pH para águas subterrâneas tem em médias valores que variam de 5,5 a 8,5. Avaliando a qualidade de águas subterrâneas no sertão cearense que tem por finalidade abastecimento para consumo humano, Braga *et al.* (2018) chegaram a mesma conclusão obtendo valor médio para pH de 6,5 atendendo às exigências normativas.

Cabe salientar que o pH encontrado fora da faixa recomendada pela portaria nº 2914 do ministério da saúde não implica necessariamente que a água seja imprópria para consumo. Todavia, é importante destacar que o pH dentro da faixa recomendada previne a corrosão dos materiais, incrustações e melhora a eficiência do processo de desinfecção (MINISTÉRIO DA SAUDE, 2012).

A determinação do pH pode ser realizada através de diversos aparelhos existentes no mercado. Podem ser utilizados os procedimentos colorímetros ou eletrométricos. Os primeiros usam indicadores que alteram sua coloração indicando as concentrações dos íons H⁺,

as medidas não são exatas e aplicação limitada. Nos procedimentos eletrométricos, empregam-se potenciômetros, estes aparelhos permitem a determinação simples, precisa e direta do pH (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005).

2.5.2 Sólidos totais dissolvidos

No Brasil, as regiões que apresentam solos susceptíveis a erosão, apresentam grande volume de sólidos carreados nos corpos dos rios (LIBÂNIO, 2010). Além disso, todos os contaminantes que adentram ao corpo de água contribuem para o aumento da parcela de sólidos na água (VON SPERLING, 1996). Toda matéria que permanece na água após o processo de secagem e calcinação a uma determinada temperatura e tempo é denominada de resíduo total. A determinação do resíduo total é feita pelo emprego de métodos gravimétricos através da pesagem do resíduo resultante da calcinação (CETESB, 2018).

Os sólidos presentes na água podem causar problemas a biota aquática. Sedimentam-se nos leitos dos rios danificando a área de desova dos peixes além de prejudicar a navegação. Os sólidos podem também conter bactérias que promovam a decomposição anaeróbia, responsável pela produção de gases de odores desagradáveis e podem acelerar o processo de assoreamento de corpos hídricos (CETESB, 2018).

Este parâmetro é medido através da concentração dos minerais presentes na água. Para fins de consumo humano a água deve ser considerada doce (MANZIONE, 2015). A Organização Mundial da Saúde (OMS), define o limite máximo como sendo de 1.000 mg/l. Na Tabela 1 é apresentada a classificação da água quanto a concentração de sólidos totais.

Tabela 1 – Classificação das águas subterrâneas

Classificação	Sólidos dissolvidos totais (mg/l)
Água doce	0 – 1.000
Água salobra	1.000 – 10.000
Água Salina	10.000 – 100.000
Salmoura	> 100.000

Fonte: Manzione (2015).

A qualidade das águas superficiais é responsável pela recarga dos aquíferos, sendo que esta, apresenta variação sazonal dos sólidos dissolvidos (MEIRELES et al., 2007; ANDRADE *et al.*, 2005). Caracas (2013), estudando a influência da salinização das águas subterrâneas para fins de consumo, na região do baixo Jaguaribe, observou as águas apresentavam teores de sólidos totais mais elevados durante o período seco, onerando os custos no tratamento de água em períodos de estiagem.

2.5.3 Turbidez

O grau de interferência à passagem da luz numa amostra de água é definido pela turbidez. A presença de sólidos suspensos tais como, areia, silte, argila e outros microrganismos conferem uma aparência a água turva (VON SPERLING, 1996), reduzindo sua transparência (FUNASA, 2013).

A presença de partículas suspensas na água pode ser resultado do processo de erosão ou de despejos de efluentes (CETESB, 2018). A sazonalidade também é um fator que influencia no grau de turbidez da água. Mendes e Ferreira (2014) verificaram que a turbidez apresenta valores mais altos em períodos de estação chuvosa e valores mais baixos em épocas de seca. Richter (2009) explica que esta variação é devido ao carreamento de sólidos serem mais intensos nos períodos de chuva.

Assim como a intensidade das chuvas aumentam os valores de turbidez descrito por Ritcher (2009), Nobre *et al.* (2018) verificou que este parâmetro tende a aumentar em épocas de escassez devido aos altos índices de evaporação. Estudando a dinâmica do aquífero aluvionar do baixo Jaguaribe, o autor verificou que a variação da turbidez apresentou níveis baixos do estabelecidos pela legislação para consumo, no entanto, com a redução do volume de águas pela evaporação, a turbidez aumentará dificultando o tratamento para abastecimento humano.

O valor estabelecido pela portaria MS nº 2914/2011, limita o valor da turbidez em 5 unidades de turbidez (uT) no sistema de distribuição. Desse modo, é possível garantir a qualidade microbiológica da água, servindo a turbidez como um indicador deste parâmetro (BRASIL, 2011). A turbidez acima desse valor, não necessariamente é danosa a saúde do homem, entretanto, torna a água escura podendo causar rejeição pela população (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Em um estudo sobre água subterrâneas realizado 83 poços no estado do Ceará, Silva, Araújo e Souza (2007) constaram que de maneira geral, a turbidez atendeu os limites exigidos pela legislação ficando abaixo de 5 unidades de turbidez. Contudo, apresentou um coeficiente de variação de 147%, denotando alta variabilidade do parâmetro nos diferentes domínios litológicos do território cearense.

2.5.4 Cor

A cor é um dos parâmetros de natureza física da água. A presença de cor na água é proveniente da matéria orgânica em decomposição, de minerais ou de resíduos industriais. A

medida de cor é expressa em unidade de cor (uC) ou unidades Hazen (uH) (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 1996).

Quanto à saúde, a cor não apresenta risco ao ser humano. A determinação da cor na água de abastecimento público é meramente estética. Contudo, a medida é fundamental visto que a água que apresenta coloração marcante, provoca rejeição pelos consumidores e, estes podem buscar por águas que ofereçam riscos à saúde (VON SPERLING, 1996; FUNASA, 2013).

É importante distinguir cor aparente de cor verdadeira. A primeira indica a presença de partículas em suspensão. A cor verdadeira é determinada a partir da centrifugação ou filtração. As águas naturais apresentam, em geral, cor verdadeira variando de 0 a 200 uH (CETESB, 2018).

Para Libânio (2010), a cor verdadeira pode indicar a presença de matéria orgânica nas águas naturais. Porém, a legislação vigente não faz nenhuma menção a cor verdadeira nos padrões de potabilidade, servindo apenas de aspecto estético como mencionado anteriormente.

Alguns elementos são responsáveis pela alteração da cor de águas subterrâneas como o ferro e manganês, não sendo prejudiciais ao ser humanos em baixas quantidades, limitadas da 300 mg/L de ferro e 100 mg/L para manganês a fim de manter as propriedades organolépticas (ALMEIDA *et al.*, 2019), entretanto, a presença de ferro confere uma coloração arroxeadada ou coloração negra no caso da presença de manganês (MANZIONE, 2015).

2.5.5 Coliformes totais

A caracterização biológica de todos os microrganismos patogênicos presentes na água é uma tarefa praticamente impossível, em vez disso, a prática consiste em determinar uma única classe de bactérias. Na indicação de contaminação por organismos é empregado um grupo de bactérias representado pelos coliformes (RITCHER, 2009). Assim, o objetivo a análise microbiológica da água é subsidiar a sua potabilidade (FUNASA, 2014).

Por muito tempo, a *Escherichia Coli* foi utilizada como indicador de contaminação fecal, por ser um grupo de bactérias presente no intestino de todos os animais de sangue quente, apresentar relação com o grau de contaminação fecal e serem facilmente quantificáveis. No entanto, o grupo coliforme inclui outras bactérias de origem não fecal. Desse modo, os coliformes totais são os indicadores definidos na legislação para determinação da contaminação da água por microrganismos (vírus, bactérias, protozoários, algas etc.) (RITCHER, 2009).

A detecção de coliformes totais pode ser realizada pelos métodos dos tubos, da membrana filtrante e substrato cromogênico. A unidades para o primeiro e terceiro método

apresenta-se em termo de NMP/100 ml (Número Mais Provável por 100 ml). A unidade para o método da membrana filtrante é expressa em UFC/100 ml (Unidades Formadoras de Colônia por 100 ml) (LIBÂNIO, 2010).

A contagem padrão de bactéria é um processo importante no tratamento da água, tendo em vista que ela permite avaliar a eficiência do tratamento (REIS; BEVILACQUA; CARMO, 2014). De acordo com o Artigo 27º da portaria MS nº 2914/2011, a água para consumo humano deve estar isenta de *Escherichia Coli*. A presença na água indica insuficiência no tratamento (BRASIL, 2011).

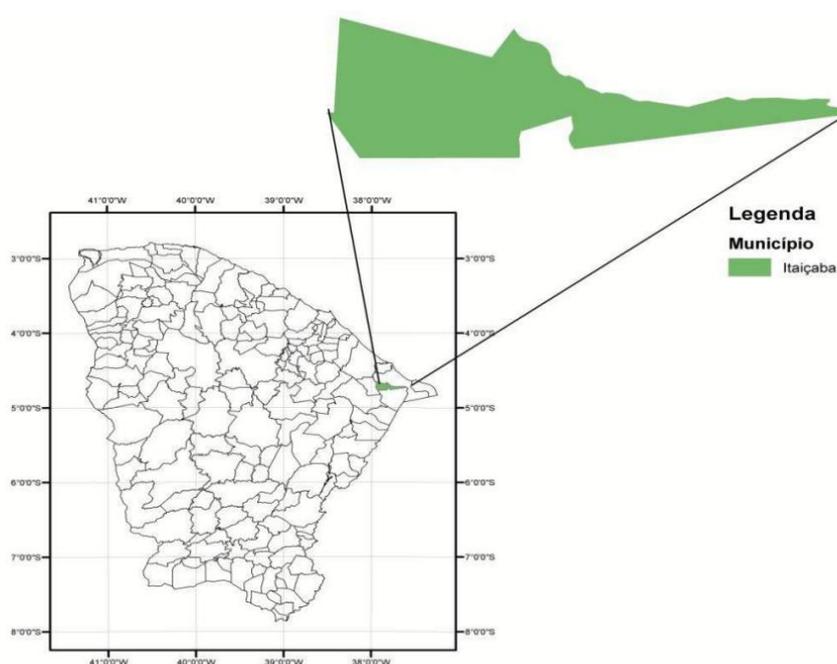
A integridade do sistema (rede e reservatório) é avaliado pela contagem mensal de bactérias heterotróficas em 20% das amostras para análise de coliformes totais. A contagem não deve ultrapassar 500 UFC/ml (BRASIL, 2011). Essa contagem tem o papel de fornecer informações auxiliares a respeito da qualidade bacteriológica da água de maneira genérica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Itaiçaba fica localizado na região leste do Ceará (4° 40' 28" de latitude e 37° 49' 28" de longitude) a aproximadamente 150 km de Fortaleza, com parte do território situado na macrorregião Leste e Vale do Jaguaribe e microrregião Baixo Jaguaribe. Possui área de aproximadamente 209,42 km² (IPECE, 2012). O município faz limite com os municípios Aracati ao Norte e ao Leste; Palhano ao Sul e ao Oeste e Jaguaruana ao Leste.

Figura 2 - Mapa de localização do município de Itaiçaba.



Fonte: Nobre (2014)

Quanto aos aspectos demográficos, de acordo com o censo realizado pelo IBGE (2010), a população total do município era 7.316 habitantes. A população da zona urbana do município (sede) representa 58,85% da população total enquanto os residentes da zona rural representam 41,15%. Em termos absolutos, 4.279 pessoas residem na sede da cidade e 3.037 na zona rural do município.

Itaiçaba está localizada numa região composta majoritariamente por três domínios hidrogeológicos: o de rochas sedimentares, de rochas cristalinas e depósitos aluvionares (leito do rio Jaguaribe). As rochas cristalinas predominam em profundidade, representando o que se conhece por aquífero fissural, com pequenas ocorrências de água subterrânea e de baixa vazão.

As coberturas sedimentares compreendem camadas menos espessas de sedimentos dendríticos, entretanto, a alta permeabilidade produz vazões significativas.

Essas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades como é o caso da comunidade Alto do Ferrão, objeto de estudo deste trabalho.

O presente trabalho foi desenvolvido na comunidade rural de Itaiçaba, Alto do Ferrão, uma vila de moradores que dista 7 km do centro da cidade. O motivo da escolha foi a acessibilidade aos moradores da localidade, tendo em vista que o pesquisador tem relacionamento próximo aos mesmos.

A comunidade Alto do Ferrão é predominantemente composta de carnicultores e agricultores. Não há qualquer infraestrutura de coleta de lixo ou esgoto sanitário. O abastecimento público de água da comunidade é feito através de um poço comunitário que supre as necessidades dos moradores.

O poço comunitário que abastece a comunidade possui apenas tratamento simplificado de filtração e a água é então armazenada e distribuída aos moradores. A ausência de tecnologias de tratamento adequadas que garantam o atendimento aos padrões de potabilidade justifica a necessidade de avaliar a qualidade da água disponível por meio de análises laboratoriais.

3.2 Metodologia de pesquisa

O presente trabalho foi realizado através de uma pesquisa de campo na qual foram feitas duas campanhas para coleta das amostras. A primeira coleta, aconteceu no mês de janeiro em 2021, durante o período de estiagem da região. A segunda ocorreu durante a quadra chuvosa, em março de 2021. A variação temporal entre as duas campanhas de coleta tem por objetivo identificar possíveis alterações dos parâmetros analisados, tendo em vista a variação do nível do lençol freático que abastece o poço comunitário sofre entre as duas estações de seca e chuvosa.

O cenário hidrológico durante a primeira campanha marcou o início da transição entre a época seca e chuvosa, devido ao fato que não chovia na região há mais de 8 meses, caracterizando período de seca. Durante a segunda campanha, os dias anteriores a data da realização da coleta foram marcados por fortes chuvas na região.

A pesquisa foi pautada em dois eixos principais, um para a análise da qualidade e caracterização da água subterrânea ofertada ao abastecimento público na comunidade, e outro

para avaliação do sistema de abastecimento público. Dessa forma, as amostras foram coletadas diretamente da saída da fonte abastecedora (poço) e no final da rede de abastecimento para que a amostragem fosse representativa de todo o sistema.

Na Figura 3 é indicado os dois locais de coleta na comunidade. No ponto P1 está indicado localização da fonte de abastecimento, o poço, e o ponto T1 representa uma residência onde foi coletada a água, afastada do início da rede de distribuição.

Figura 3 – Localização dos pontos de coleta



Fonte: Adaptado de (Google Earth, 2020).

Para cada ponto em questão, foram coletadas amostras de água para determinação da dos parâmetros de qualidade da água disponível e assim poder fazer um comparativo entre os resultados de qualidade da água provinda diretamente da fonte subterrânea e a água entregue no final da rede de distribuição.

3.3 Procedimento de coleta

Todas as coletas foram feitas seguindo os mesmos padrões de higiene e segurança para evitar que as amostras fossem contaminadas (ANA, 2011). No ponto mais próximo do poço, a bomba de saída d'água era previamente higienizada com hipoclorito de sódio e logo em seguida, era bombeada por tempo suficiente para eliminar sujidades e água estagnada na tubulação. No final do sistema de abastecimento, a limpeza realizava-se a assepsia da torneira e deixava-se a água escorrer por dois minutos para então realizar a coleta.

No momento da coleta, ajustava-se a vazão para que não houvesse o transbordamento do frasco. Para as análises físico-químicas, os recipientes eram lavados três vezes com a água a ser coletada e preenchidos parcialmente até $\frac{3}{4}$ do volume. Após isso, os frascos eram identificados e armazenados na caixa térmica como é possível ver na Figura 4.

Figura 4 – Acondicionamento das amostras para envio ao laboratório.



Os frascos utilizados na coleta para análises físico-químicas foram adquiridos lacrados e esterilizados sendo abertos apenas no momento da coleta. Dessa maneira, a higienização prévia do coletor era dispensada. Os frascos utilizados para as análises microbiológicas eram de vidro boro silicato e esterilizados por meio de autoclavagem.

Para evitar a contaminação das amostras microbiológicas e físico-químicas, foi adotado o uso de luvas e máscaras, assim como a esterilização prévia do recipiente para coleta das amostras microbiológicas. Os frascos eram abertos exatamente no momento da coleta para que a sua manipulação fosse mínima e assim evitasse a contaminação externa. Na Figura 5 é possível o procedimento de coleta bem como os materiais utilizados na assepsia do local.

Figura 5 – Coleta e materiais utilizados na higienização da saída da bomba.



Para que as amostras permaneçam com seus constituintes inalterados, devem ser coletadas, armazenadas e transportadas no menor tempo possível, antes de sua análise, de modo a manter suas características. As amostras foram estocadas numa caixa de isopor com gelo conservando as amostras à temperatura abaixo de 10°C (não congeladas) e foram levadas ao laboratório logo em seguida, não ultrapassando 24h desde a coleta até o processamento da análise.

3.4 Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados nesse trabalho foram escolhidos de acordo com a investigação mínima realizada pela CAGECE. As análises realizadas foram: pH, sólidos totais dissolvidos, turbidez e coliformes totais, no laboratório de saneamento da Universidade Federal do Ceará. Foi realizada também a análise de cor, no laboratório da CAGECE em Russas. No Quadro 2 é listado o método utilizado para cada análise realizada.

Quadro 2 – Parâmetro e métodos utilizados nas análises

Parâmetro	Método
Cor	Comparação visual
Coliformes totais	Cromogênico
pH	Potenciométrico
Sólidos totais dissolvidos	Condutividade elétrica
Turbidez	Nefelométrico

Para determinação da turbidez foi utilizado um Turbidímetro Digital - TU430 com faixa de medição de 0 a 800 NTU. O equipamento era calibrado em quatro pontos nos valores 0, 20, 100 e 800 NTU, antes da realização da análise de acordo com as instruções contidas no manual de utilização.

O método utilizado para determinação da cor foi o da comparação visual em que a cor é comparada com amostras de soluções coloridas. A realização do ensaio foi feita pelo laboratório da CAGECE, pois, o laboratório da universidade onde foi realizada as outras análises não dispõem de insumo para realização deste.

Na análise de pH foi utilizado um medidor de pH de bancada Tecnocon mPA 210, sendo que este era calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7 seguindo as informações do fabricante. A temperatura era compensada automaticamente para o valor padrão de 25°C. O eletrodo era então inserido na amostra para medição do pH.

Para a avaliação da presença ou ausência de coliformes totais, foi utilizado o método do substrato cromogênico através do COLItest®. Para isto, foi utilizado 100 ml da água a ser analisada e esta era incubada com o substrato cujo meio de cultura possui substâncias que favorecem o crescimento de bactérias do grupo dos coliformes e favorecem a identificação.

A amostra era homogeneizada com o substrato, logo em seguida era levada para uma estufa a 35°C por um período de 24h, como indicado no manual do fabricante. Na presença de coliformes totais, o meio se altera, fazendo com que sua cor inicial mude de púrpura para tons amarelado. Após decorrido o tempo estipulado pôde-se observar se a presença ou ausência de coliformes totais.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) foram analisados utilizando um condutivímetro de bancada mCA-150. Para estimativa dos valores de STD existe uma relação empírica entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos. A constante de correlação K entre as duas grandezas era estimada automaticamente pelo equipamento. O aparelho foi calibrado por meio da comparação de uma célula padrão de condutividade elétrica e então realizou-se a análise.

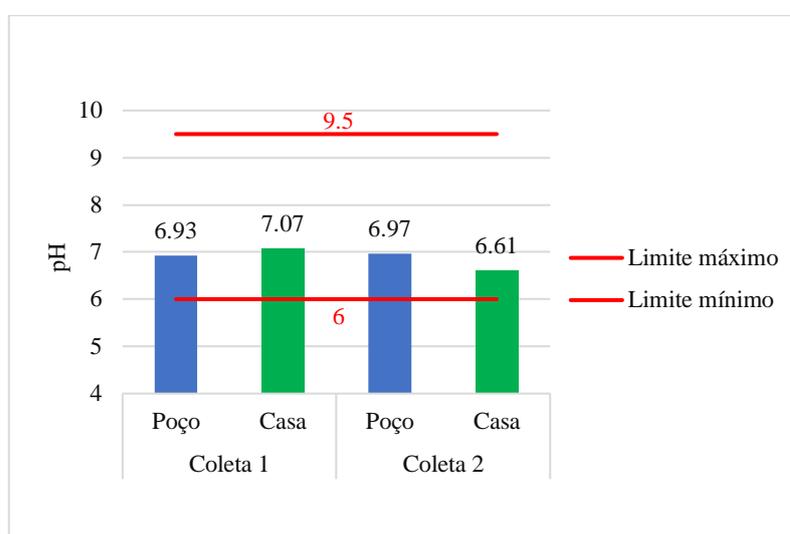
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Parâmetros Físico-Químicos

4.1.1 pH

Para o poço em análise, o pH não apresentou variação significativa, tanto em ambos os pontos de coleta como também durante as duas campanhas de coleta. O valor mínimo de pH encontrado foi de 6,61 enquanto o pH máximo foi de 7,07 (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Representação da variação do pH e comparação com legislação.



A média do pH encontrada para a água do poço da comunidade do Alto do Ferrão foi de 6,95, na saída do poço e 6,84 no ponto final da rede de distribuição, caracterizando a água próxima da neutralidade. A Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde estabelece que os valores do pH, para consumo humano, devem estar entre 6,0 e 9,0, portanto, confrontando os dados desse estudo com a legislação, a média obtida para os dois locais de coleta estão em conformidade com o exigido.

A variação do pH está relacionada diretamente com interação da água e o meio na qual se encontra (ALVES et al., 2008). A decomposição de matéria orgânica, solo e o ar são fatores que alteram o índice do pH. Geralmente para águas subterrâneas esses valores são encontrados na faixa de 5,5 a 8,5 (MANZIONE, 2015).

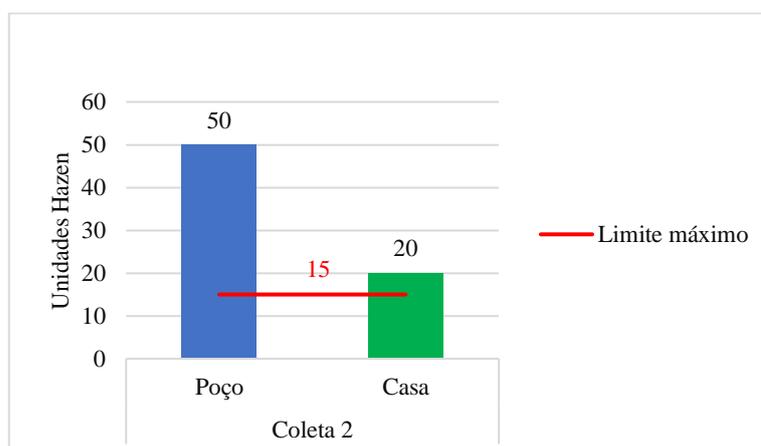
É importante ressaltar que para valores encontrados fora da faixa limite estabelecida pela portaria, não torna a água imprópria para o consumo, contudo, o pH mantido na faixa

estipulada previne a corrosão, uns dos principais problemas encontrados em poços tubulares, evidenciado pelo excesso de produção de sólidos carregados na água.

4.1.2 Cor aparente

A água potável deve estar em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade expresso no Anexo XX da portaria de consolidação nº 5 do ministério da saúde de 2017. O anexo estabelece que o limite máximo para cor aparente é de 15 unidade Hazen. Os valores mínimos máximos encontrados foram de 20 uH para o final da rede e 50 uH na saída do poço (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Valores de cor obtidos e comparação com o limite máximo.



Para o parâmetro de cor foi a realizado apenas uma campanha de coleta, a segunda, devido restrições de circulação intermunicipal na data da primeira campanha coleta, pela pandemia do COVID19. Contudo, os dados apresentados são suficientes para classificação quanto a potabilidade da água analisada. Os dois pontos analisados apresentaram valor superior aos delimitados pela norma. Estes valores acima do permitido não necessariamente é prejudicial ao homem, entretanto, pode causar a recusa pelo consumidor devido a aparência escurecida.

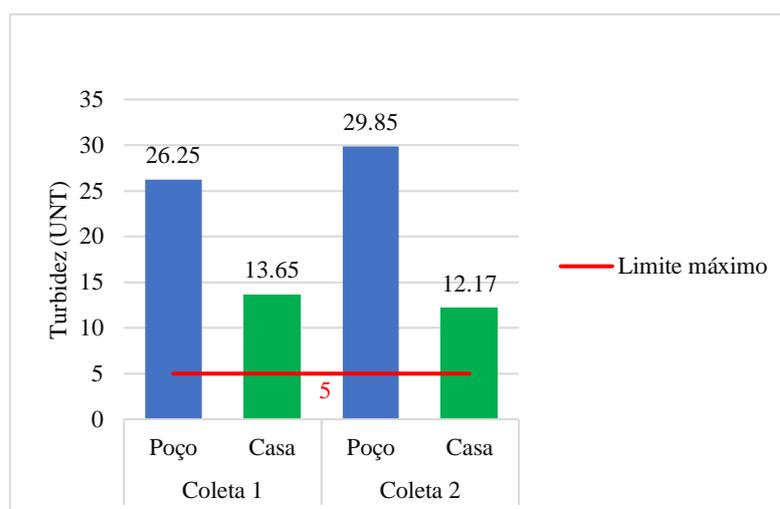
Pode-se notar que o valor máximo foi encontrado na saída do poço. Como a cor aparente indica a presença de sólidos suspensos na água, após passar pelos filtros e ser armazenada no reservatório, é compreensível que haja redução no valor desse parâmetro, como consequência da redução das partículas que ficaram retidas no processo de filtragem.

4.1.3 Turbidez

A água considerada turva é aquela que apresenta presença de partículas como sólidos ou microrganismo reduzindo sua transparência. (VON SPERLING, 1995). Assim como a cor, a turbidez é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto. Portanto, para água ser considerada potável, a portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde estabelece que as águas destinadas ao consumo não ver ultrapassar 5 unidades de turbidez.

Quanto a determinação da turbidez, variou de 12,17 a 29,85 UNT, em todos os casos ultrapassando 5 UNT. Desse modo, a água não atende às exigências normativas para o abastecimento público. Pode-se perceber através do Gráfico 4 que os maiores valores de turbidez ocorreram na saída do poço e os menores na rede de abastecimento. Um motivo para esta redução, como já foi explicado anteriormente, é ação dos filtros, a jusante do reservatório.

Gráfico 4 – Valores de turbidez encontrado e comparação com legislação



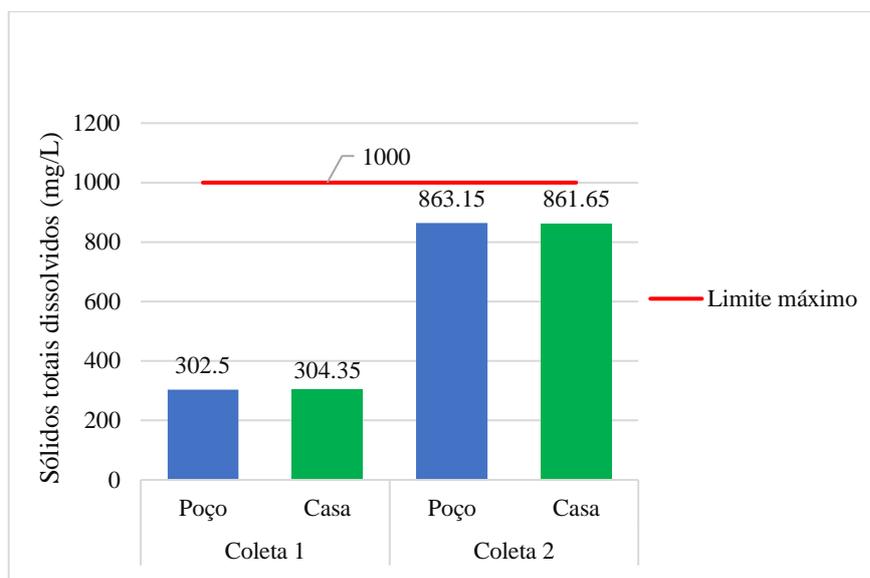
Não há também uma variação significativa entre a primeira e segunda coleta. O fato para a não ocorrência dessa variação pode ter sido a pouca influência das chuvas, que tem pico de pluviometria nos meses de março a abril. Conforme Braga (2014), a turbidez das águas subterrâneas é influenciada pelo regime de chuvas e pela geologia do local.

A geologia do local ajuda a entender os altos índices de turbidez encontrado para as águas do poço na comunidade. O poço está situado em uma área, onde cerca de 90% dos poços cadastrados no município de Itaiçaba estão localizados, sobre o domínio cristalino, caracterizado por pequenas vazões e alta concentração de partículas sólidas (CPRM, 1998).

4.1.4 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos apresentaram valores que variaram de 301,35 mg/L a 863,15 mg/L. Quanto ao uso da água para consumo humano, considerando o limite de 1.000 mg/L de acordo com a portaria nº 2.914, observou-se que os poços captam águas consideradas dentro do padrão, conforme Gráfico 5. Para efeitos de comparação, a água com teor de sólidos dissolvidos inferior a 1.000 mg/L pode ser considerada doce (MANZIONE, 2015).

Gráfico 5 – Valores obtidos para sólidos totais



Ainda de acordo com Gráfico 5, percebe-se um aumento significativo na concentração em sólidos entre uma campanha e outra, tal alteração pode estar relacionada com o início da quadra chuvosa e o carreamento de materiais que abastecem o aquífero da região.

Embora o teor de sólidos totais dissolvidos encontrados estejam abaixo do limite estabelecido pela legislação, a quantidade ainda é expressiva, podendo alterar as propriedades organolépticas da água. Este cenário pode ser atribuído a geologia do local, marcada pela ocorrência das rochas cristalinas e depósitos sedimentares, onde a circulação da água é deficiente e tende a concentrar sais devido a dissolução das rochas.

Em um estudo semelhante realizado por Corcovia e Celigo (2012), na região do aquífero Guarani, que consiste primariamente de sedimento arenosos, obtiveram valores para STD inferiores a 300 mg/L, uma concentração considerada baixa, se comparada aos resultados obtidos para este trabalho.

No que se refere qualidade das águas encontrada, pôde-se perceber que a água do poço analisado possui água com teor de sais dissolvidos elevados, sendo assim recomendadas para apenas consumo animal, agricultura ou uso atividades como lavar, tomar banho etc.

A salinidade presente na água dos poços, deve-se a questão de esses estarem compreendidos em um aquífero com rochas cristalinas, onde a percolação de água pela rocha acontece de forma descontínua e com circulação lenta, proporcionando uma maior interação entre água-rocha, intensificando a lixiviação.

4.2 Análise microbiológica

Para a primeira campanha de coleta, na época de estiagem, foi aplicada a técnica do substrato cromogênico para verificação da presença ou ausência de bactérias do grupo coliforme. Ficou constatado que a amostra analisada apresentava contaminação microbiológica por bactérias do grupo coliforme. As análises da segunda etapa confirmaram os resultados já obtidos confirmando a contaminação da água por coliformes totais. Na Figura 6 é possível ver alteração a amostra de coloração púrpura para coloração amarelada indicando a presença de coliformes.

Figura 6 – Alteração colorimétrica da amostra indicando a presença de coliformes totais.



Fonte: Autor (2021)

Os dois pontos de amostragem, manancial subterrâneo e final da rede de distribuição, apresentaram contaminação. Esses resultados estão de acordo aos encontrados por Nobre (2014) que demonstrou contaminação por coliformes totais em 80% das amostras e *E. coli* em 50% dos poços estudados.

Os coliformes são organismos que podem ter origem natural ou decorrente de contaminação por fezes, uma vez que estão presentes no intestino de animais de homens. Assim, a presença de bactérias do grupo dos coliformes é utilizada como indicador de contaminação fecal (VASCONCELLOS et al., 2006; MALHEIROS, 2015).

A presença desses organismos verificada nas águas do poço avaliado e na rede de distribuição torna estas não potáveis, tendo em vista que a água destinada ao consumo humano deve estar ausente de bactérias do tipo coliforme segundo a portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde. Dessa maneira, a contaminação microbiológica é preocupante, uma vez que a presença desses patógenos pode gerar doenças de veiculação hídrica (LIBÂNIO, 2010).

A presença de coliformes totais na água do poço que abastece a comunidade pode estar associada a contaminação por dejetos humanos devido a proximidade com fossas sépticas já que a região não possui coleta de esgoto, favorece a contaminação do aquífero (SILVA, 2014). Outro fator que deve ser destacado são as construções de poços semiartesianos de baixa profundidade na região, os quais não apresentam estrutura adequada, não seguem as normas pré-estabelecidas e não realizam manutenções periódicas, aumentando as chances de contaminação.

É importante destacar que no artigo 13 da resolução CONAMA/396, os órgãos competentes devem monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, com base naqueles selecionados conforme o artigo 12, considerando análise mínima em função do uso, bem como pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água.

Alternativas como a filtragem em múltiplas camadas combinada com a filtração lenta permite o tratamento de águas com altos níveis de contaminação. A solução é apontada como um sistema viável e eficiente por Camplesi (2010), que obteve resultados significativos na eliminação de microrganismos com índice de 95% de remoção dos contaminantes em um estudo realizado na estação de tratamento de água em Goianópolis – GO. Além da eficácia do método, a solução tem pequeno custo o que torna o tratamento técnico e economicamente viável.

É importante destacar também que, como a água não recebe nenhuma forma de tratamento, além da filtração simples, e foi identificada a presença de coliformes totais, é indicado que passe, no mínimo, por um processo de desinfecção por cloro (PHILIPPI, 2005). O mais indicado é adotar a desinfecção contínua, através de bombas dosadoras de cloro, com a dosagem constante do agente químico dentro do poço (MELO, 2006).

4.3 Avaliação do sistema de abastecimento

A avaliação dos sistemas de tratamento de água pode ser verificada por diversos parâmetros, seja por sua eficiência ou eficácia. Em termos de eficácia, ou seja, relacionado à resultados de qualidade desejáveis, os parâmetros analisados forneceram subsídios para avaliação do sistema existente. A eficácia do sistema foi observada comparando-se os resultados do tratamento com o exigido pela normatização brasileira, constatando-se como ineficaz e necessidade de ampliação e melhoria.

A comunidade Alto do Ferrão, é abastecida por água subterrânea proveniente de um poço tubular instalado próximo ao reservatório. A água é distribuída para os moradores da comunidade passando apenas por um tratamento simplificado de filtração. Para o processo de filtragem são utilizados filtros centrais (Figura 7), com material filtrante que retém as partículas sólidas.

Figura 7 – Filtros centrais utilizados no tratamento simples



Fonte: Autor (2021)

A presença de coliformes totais constatada nas águas do poço de abastecimento da comunidade, fornece subsídios à discussão sobre a ausência ou falhas no sistema de tratamento de água, considerando que bactérias desse tipo podem ser encontradas em vários ambientes naturais, mas não em água potável. Estes resultados são totalmente compreensíveis uma vez que o poço não dispõe de desinfecção.

A presença de microrganismos na água pode desencadear processos de corrosão e incrustação das tubulações alterando parâmetros como sabor e odor. Recomenda-se a aplicação

de desinfetantes como hipoclorito de sódio ou cloro para eliminar e evitar o crescimento bacteriano.

Com relação aos parâmetros físico-químicos, cor e turbidez ficaram acima do limite estabelecimento pela portaria do ministério da saúde. Para que a água seja adequada para consumo, ela precisa passar por um processo adequado e tratamento e torna-se portátil. A grande quantidade de sólidos dissolvidos encontrados nas análises tem influência direta sobre os parâmetros como a turbidez e cor, afetando, no mínimo, as propriedades organoléticas.

Considerando a necessidade de aprimorar a qualidade da água oferecida, além do sistema de tratamento, é importante estar atento a todos os fatores que interferem na exploração da água e tem influência direta na eficiência do tratamento. Desse modo, a fim de manter o poço nas melhores condições operacionais possíveis, é importante a realização de manutenção periódica deste pois, a falta de manutenção pode diminuir a quantidade e reduzir qualidade da água explorada.

Acerca de alguns problemas identificado quanto ao estado de conservação do poço, pode-se destacar a acúmulo exagerada de areia. Na Figura 8 é possível ver a quantidade de areia retirada de dentro do reservatório durante o processo de limpeza. Uma das principais causas é a presença de corrosão nas paredes de revestimento do poço, composta de tubos de aço para evitar desmoronamento, além disso, pode estar relacionado com a abertura dos filtros pela corrosão.

Figura 8 – Depósito de areia retirado do reservatório



Fonte: Autor (2021)

Portanto, para consumo de água subterrânea é necessário conhecer a qualidade da água disponível e assim desenvolver um sistema de tratamento adequado conforme as

condições de potabilidade da água utilizada. Em resumo, o tratamento da água de poço tubular deve ser feito através da correção de compostos químicos e físicos contidos na água, utilizando-se um filtro específico com adição do cloro para desinfecção. O processo de desinfecção pode ser feito com a bomba dosadora automática de cloro, sistema ultravioleta ou ozônio.

5 CONCLUSÃO

O uso da água subterrânea para fins de consumo humano tem aumentado significativamente em relação as águas superficiais. Muitas vezes, a água subterrânea é a única opção de água disponível no campo e nas zonas ruais, uma vez que as companhias de saneamento que realizam o tratamento e distribuem à população por meio de adutoras tem área de cobertura deste serviço limitada.

Não obstante, existe uma preocupação com relação a exploração desse recurso, frequentemente utilizado de forma irracional e não controlada. Para além disso, há ainda a preocupação com os padrões de qualidade da água provinda de fontes subterrâneas.

Com relação aos parâmetros analisados neste trabalho, apenas sólidos totais dissolvidos demonstrou variação significativa entre a primeira e segunda campanha de coleta. Com relação aos pontos de coleta, saída do poço e final da rede de distribuição, STD e pH apresentaram valores próximos. Analisando os resultados obtidos, considerando quatro parâmetros físico-químicos e um microbiológico, revelaram-se acima do limite de concentração estabelecido pelo ministério da saúde.

Em relação as análises físico-químicos, pode-se afirmar que para os parâmetros de pH e sólidos totais dissolvidos se mantiveram dentro do limite estabelecido por noma nas duas campanhas. Os parâmetros de cor e turbidez ultrapassam os limites de potabilidade exigidos, decorrente de problemas no processo de filtragem e falta de técnicas de tratamento mais eficazes.

No que diz respeito as análises microbiológicas da água, pode-se confirmar a presença de contaminação por coliformes totais nas duas campanhas de coleta, tanto para água que sai direto da fonte como também na ponta da rede de distribuição. Estas condições torna a água não aceitável para consumo humano, necessitando de medidas para o tratamento da água.

O sistema de tratamento encontrado no local é do tipo simplificado e possui apenas filtros centrais para retenção de partículas. Percebeu-se que o conjunto já está aparentemente deteriorado e necessita de manutenções periódicas. Com relação ao poço tubular, a falta de manutenção ou estruturas adequada de operação foi responsável pelo excesso de areia produzido identificando, denotando a falha nos filtros do poço tubular.

Sendo assim, pode-se concluir que água disponível não é indicada para o consumo humano na sua forma bruta ou com o atual sistema de tratamento. Ainda que alguns parâmetros atendam aos padrões estabelecidos pelas normas de potabilidade da água, não podem ser

somente assegurados em dado momento. Principalmente se a captação ocorre em recursos hídricos vulneráveis e de fácil contaminação, como é o caso de poço tubulares semiartesianos.

Este trabalho, contribui assim, para tomada de decisões do poder público municipal, de modo que é um diagnóstico pelo qual se podem tomar providências para mitigação do problema encontrado, acerca da qualidade de água oferecida aos moradores da comunidade que, acima de tudo, é uma questão de saúde pública, principalmente numa época pandêmica que nos encontramos.

5.1 Sugestão de trabalhos futuros

Para uma melhor avaliação dessas ocorrências seria necessário a continuidade das análises em campo, com variação sazonal e temporal das campanhas de coleta, fatos que não foram possíveis de serem realizados neste estudo, sendo necessário a continuidade do monitoramento dos parâmetros por mais tempo para conclusão de melhor representatividade acerca dos parâmetros. Esta avaliação poder ser continuada com agregação de outros estudos futuros.

Investigar a quantidade de água subterrânea também se fazem importante uma vez que este recurso possui capacidade limitada. A exploração de forma controlada e consciente perdurará o aproveitamento dessas águas.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, S. K.; **Water pollution** (em Inglês). Nova Délhi: APH Publishing, 2009. 384 p.
- ALVES, Eliane C *et al.* Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, pag. 39-48, 2008.
- ATKINS, P.W.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente 5ª ed., Porto Alegre: Ed. Bookman, 2012.
- AGUIAR, Mônica Regina Marques Palermo de; NOVAES, Amanda Cardoso; GUARINO, Alcides Wagner Serpa. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 25, n. 6b, p. 1145-1154, Dec. 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000700015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 abr. 2020.
- ALMEIDA, Ana Beatriz Batista de *et al.* Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. **Águas Subterrâneas**, Juazeiro do Norte, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29520>. Acesso em: 07 dez. 2020
- ANDRADE, E. M *et al.* Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v.36, p.135-142, 2005.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília: ANA, 2019 Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/eBooks/caderno5/caderno_05_os_07.html#p=7. Acesso em: 05 abr. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro**: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação – Anexo C. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-reservatorios/anexo-c-jaguaribe.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Cuidando das águas**: soluções para melhorar a qualidade dos recursos. 2. ed. Brasília: ANA, 2013. 157 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/CuidandoDasAguas-Solucao2aEd.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. Brasília: Funasa, 2013. 150 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 03 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional, Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2018**. Brasília: SNIS, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em: 16 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 07 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Dados climáticos**: gráfico de temperatura. Disponível em: http://projeteec.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=CE+-+Morada+Nova&id_cidade=bra_ce_morada.nova.825940_inmet. Acesso em: 08 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em: 15 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRAGA, Erika Sampaio *et al.* Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Águas Subterrâneas**, Fortaleza, v. 32, n. 1, p. 17-24, 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28926>. Acesso em: 08 dez. 2020.

BRAGA, L. M. M. A gestão dos recursos hídricos na França e no Brasil com foco nas bacias hidrográficas e seus sistemas territoriais. **Labor & Engenharia**, Campinas, 9, n. 4, 2015. Disponível em: <http://conpadre.org/>. Acesso em: 06 abr. 2020.

BRAGA, Fernando P. **Validação de desempenho de uma estação de tratamento de água do Município de Juiz de fora – MG.** 70 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

CAMPLESI, D. C. F. 3 - Remoção de coliformes totais e Escherichia coli utilizando a filtração em múltiplas etapas (FiME) em períodos de alta turbidez da água bruta. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, n. 1, 29 set. 2010.

CARACAS, Isabelle Bezelga. **Influência da salinização em parâmetros de qualidade das águas subterrâneas na região costeira do Baixo Jaguaribe.** 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/19311/1/2013_dis_ibcaracas.pdf. Acesso em: 07 dez. 2020.

GABRIEL, Cavelhão. **PH como variável indicadora em águas subterrâneas de vazamento provenientes de sequestro geológico de carbono.** 2014. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/129634/328551.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 mar. 2021.

CAGECE. **Relatórios Anuais.** Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/documentos-publicacoes/relatorios/>. Acesso em: 09 abr. 2020.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Baixo Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará – Fortaleza: INESP, 2009.**

CEARÁ. **Lei nº 11.996, de 24.07.92 (D.O. de 24.07.92).** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências. Fortaleza, CE, 1992. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/desenv-regional-recursos-hidricos-minas-e-pesca/item/1022-lei-n-11-996-de-24-07-92-d-o-de-29-07-92>. Acesso em: 05 abr. 2020.

CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. **Apresentação.** Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/apresentacao/>. Acesso em: 05 abr. 2020.

CEARÁ. **Lei nº 11.306, de 01.04.87 (D.O. de 01.04.87).** Dispõe sobre a extinção, transformação e criação de Secretarias de Estado e cria cargos de Subsecretário e dá outras providências. Fortaleza, CE, 1987. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/trabalho-administracao-e-servico-publico/item/1055-lei-n-11-306-de-01-04-87-d-o-de-01-04-87>. Acesso em: 05 abr. 2020.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Fundamentos do Controle de Poluição das Águas.** São Paulo, 2018.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes.** Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CORCÓVIA, J. A.; CELLIGOI, A. **Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã-PR.** Revista de estudos ambientais, v. 14, n. 2esp, p. 39-48, 2012.

COGERH. **Bacia Potiguar.** 2018. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Cartilha-Bacia-Potiguar.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

CRUZ, Odiane de Barros da et al. Conflitos socioambientais na Chapada do Apodi: contaminação e privatização da água: contaminação e privatização da água. In: CONNEPI, 7., 2012, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: Ifto, 2012. p. 1-7. Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/3696/2324>. Acesso em: 12 abr. 2020.

DANTAS, Sullivan Pereira. **Açudagem no nordeste brasileiro e no Ceará: estimativa de evaporação do açude castanhão em um ano seco.** 2017. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/28613/3/2017_tese_spdantas.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

FUNCEME. **Índice de Aridez para o Ceará.** Fortaleza, 2017. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2783. Acesso em: 11 abr. 2020

FUNCEME. **Calendário das chuvas no estado do Ceará.** Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/macrorregioes/media/anual>. Acesso em: 09 abr. 2020.

GAMA, Rogério Gutierrez. **Usos da Água, Gestão de Recursos Hídricos e Complexidades históricas no Brasil: Estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.** 2009. Dissertação (Curso de Mestrado) - Escola Nacional de Ciências Estatísticas. Programa de Pós-Graduação em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais, Rio de Janeiro, 2009.

GOMES, D.F. **Estudo hidroquímico, isotópico e da dinâmica do nível estático das águas subterrâneas e superficiais da região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe.** Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará - UFC. 218p. 2005.

GOOGLE, **Google Earth.** 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2019.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 3 abr. 2020.

IPECE. **Perfil das regiões de planejamento: Vale do Jaguaribe - 2017.** Fortaleza: IPECE, p. 05, 2017. Disponível em:

http://www2.ipece.ce.gov.br/estatistica/perfil_regional/2017/PR_Vale_do_Jaguaribe_2017.pdf. Acesso em: 08 abr. 2020.

IPECE. **Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades**. Fortaleza: IPECE, 2011. 268p. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Recursos_Hidricos_do_Ceara.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: IAL, 2005.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3.ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LIMA, Thales Bruno Rodrigues. **Resposta hidrológica de uma grande bacia hidrográfica no semiárido brasileiro diante de cenários de transposição hídrica e racionalização do uso de reservatórios não estratégicos**. 2020. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/50806/3/2020_dis_tbrlima.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

LIMA, Aline Souza Carvalho et al. Satisfação e percepção dos usuários dos sistemas de saneamento de municípios goianos operados pelas prefeituras. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 415-428, maio 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000300415&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 abr. 2020.

MANZIONE, Rodrigo Lilla. **Águas Subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar**. Jundiaí: Paco Editorial, 2015.

MALHEIROS, Patrícia da Silva et al. Contaminação bacteriológica de águas subterrâneas da região oeste de Santa Catarina, Brasil. **Rev. Inst. Adolfo Lutz (Impr.)**, São Paulo, v. 68, n. 2, 2015.

MELO, Délio Corrêa Soares de. Manutenção e reabilitação em poços tubulares: a experiência da copasa em MG. **Águas Subterrâneas**, [s. l.], p. 1-18, 2006. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23048/15172>. Acesso em: 07 mar. 2021

MENDES, Lisiane da Silva; FERREIRA, Isaura Maria. Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba - MG. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, n. 19, p. 97 - 105, 17 dez. 2014.

MEIRELES, Ana Celia Maia; Frischkorn, H.; Andrade, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no semiárido cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, p.25-31, 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Perguntas e respostas sobre a portaria msnº2.914/2011**. Brasília, DF, 2012. Disponível em:

<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/julho/24/PERGUNTAS-E-RESPOSTAS-SOBRE-A-PORTARIA-MS-N-2-914.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2020.

NOBRE, Maria Elisângela da Silva *et al.* ESTUDO HIDROQUÍMICO-AMBIENTAL DO AQUÍFERO ALUVIONAR DO BAIXO JAGUARIBE, ITAIÇABA – CEARÁ. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 39, ed. 3, p. 77-92, 2018. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/issue/view/120>. Acesso em: 8 dez. 2020.

NOBRE, Maria Elisângela da Silva. **Hidroquímica do aquífero aluvionar do Baixo Jaguaribe, Itaiçaba, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. 2014. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15687/1/2014_dis_mesnobre.pdf. Acesso em: 7 mar. 2021.

OLIVEIRA, Renan da Costa. **Avaliação do aquífero cárstico Jandaíra na região de Baraúna, Rio Grande do Norte**. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22584/1/RenanDaCostaOliveira_DISSE RT.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities**. GLAAS 2014 findings - highlights for the Eastern Mediterranean Region. Geneva, 2014.

PHILIPPI Jr, Arlindo. (Edit.). **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.

PASSOS, A.; MUNIZ, D.; OLIVEIRA FILHO, E. Critérios para Avaliação da Qualidade de Água no Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 7, n. 2, p. 290-303, 30 ago. 2018. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2201>. Acesso em: 18 abr. 2020.

PESSÔA, Zúri Bao. **Efetivação do enquadramento de corpos d'água para fins de consumo humano em regiões semiáridas: avaliação conforme a resolução Conama 357/2005 e portaria ms 2914/2011**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294734184_Efetivacao_do_enquadramento_de_corpos_d'agua_para_fins_de_consumo_humano_em_regioes_semiaridas_Avaliacao_conforme_resolucao_CONAMA_3572005_e_portaria_MS_29142011. Acesso em: 06 abr. 2020.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Uso inteligente da água**. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2008. 208 p.

REIS, Ludimila Rodrigues; BEVILACQUA, Paula Dias; CARMO, Rose Ferraz. Água envasada: qualidade microbiológica e percepção dos consumidores no município de Viçosa (MG). **Cad. saúde colet.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 224-232, 2014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-462X2014000300224&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 abr. 2020

RIBEIRO, Sérgio; CATALÃO, Vera; FONTELES, Bené (org.). **Água e Cooperação: reflexões, experiências e alianças em favor da vida**. Brasília: Arara Azul, 2014. 240 p.

RICHTER, Carlos A. **Água-métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo - SP: Blucher, 2009. 340p.

SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Relatório nº 40.674**. São Paulo: SIGRH. 2017. p. 161-206. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6980/cap7pg161a206.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.

SANTIAGO, Maria Marlúcia Freitas et al. A qualidade das águas subterrâneas usadas na irrigação da Chapada do Apodi. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15., 2008, Natal. **Anais [...]**. São Paulo: Águas Subterrâneas, 2008. p. 1-11. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23302>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SILVA, Fernando José Araújo da; ARAÚJO, Andréa Limaverde de; SOUZA, Raimundo Oliveira de. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Tecnologia Fortaleza**, Fortaleza, v. 28, ed. 2, p. 136-159, 2007. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/viewFile/52/4461>. Acesso em: 8 dez. 2020.

SILVA, Débora Delatore da et al. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 43-52, Mar. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000100043&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 06 mar. 2021.

SMITH, V. H; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, 24(4). 2009. p. 201–207. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009>. Acesso em: 16 abr. 2020.

SOUZA FILHO, Francisco de Assis. **Estudo Setorial Especial: recursos hídricos**. Fortaleza: Ceará 2050, 2018. Disponível em: <http://www.ceara2050.ce.gov.br/api/wp-content/uploads/2018/10/ceara-2050-estudo-setorial-especial-recursos-hidricos.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SOUZA, Juliana Rosa de et al. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>. Acesso em: 18 abr. 2020.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**, 2016. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/component/content/article?id=161>

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. Disponível em: http://r1.ufrrj.br/lmbh/pdf/Outras%20publicacoes/LMBH_gestao_da_agua_no_Brasil.pdf. Acesso em: 06 abr. 2020.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. S. P. **Qualidade da água subterrânea**. Porto Alegre: IPH/UFRGS; Recife: CT/UFPE, 2003. 53 p. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/a2b_doc_final_agua_subterr_1184.pdf/49642517-e831-4ef7-bccd-5c6d3834a3a0?version=1.0. Acesso em: 16 abr. 2020.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no Brasil**: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. Disponível em: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2020.

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

VARNIER, C; Hirata, R; Aravena, R. 2018. **Examining nitrogen dynamics in the unsaturated zone under an inactive cesspit using chemical tracers and environmental isotopes**. *Applied Geochemistry*, v. 78, p. 129-138.