



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JEDSON VIEIRA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DE POÇOS DE
ALGUNS MUNICÍPIOS LOCALIZADOS NA BACIA DO BANABUIÚ - CE**

FORTALEZA

2019

JEDSON VIEIRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DE POÇOS DE
ALGUNS MUNICÍPIOS LOCALIZADOS NA BACIA DO BANABUIÚ - CE

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Marisete Dantas de Aquino.

FORTALEZA

2019

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)

O47a Oliveira, Jedson Vieira de.
Avaliação dos parâmetros físico-químicos das águas de poços de alguns municípios localizados na Bacia do Banabuiú-CE / Jedson Vieira de Oliveira. – 2019.
44 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino.

1. Qualidade da água. 2. Análise físico-química. 3. Água subterrânea. I. Título.

CDD 628

JEDSON VIEIRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DE POÇOS DE
ALGUNS MUNICÍPIOS LOCALIZADOS NA BACIA DO BANABUIÚ - CE

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Marisete Dantas de Aquino (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC)

Eng. Mateus de Alencar Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Familiares e Amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de vida e por me iluminar durante a trajetória na universidade.

A toda minha família, especialmente meus pais, Maria Vieira de Almeida Oliveira e Benedito Malaquias de Oliveira, que me educaram, apoiaram e incentivaram em toda minha trajetória.

A minha namorada e amiga Valéria por seu incentivo, apoio e pela sua companhia.

À Prof. Dra. Marisete Dantas de Aquino, pela atenção e orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga e Mateus de Alencar Costa pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental que contribuíram para minha formação acadêmica e pelos conhecimentos e instruções transmitidos.

Aos colegas da turma de graduação Letícia, Mirella, Pedro e Petrócio que me ajudaram, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“Quando agredida a natureza não se defende.
Apenas se vigia.”
Albert Einstein.

RESUMO

O monitoramento de águas subterrâneas é fundamental devido ao fato da água ser um recurso limitado, além de ser vulnerável à contaminações por ações e condições antrópicas. Neste trabalho, realizou-se um estudo da qualidade de água de poços localizados na região da Bacia do Banabuiú. Foram abrangidos os poços dos Municípios de Monsenhor Tabosa e Pedra Branca. Em cada cidade foram selecionados 10 poços para análise da qualidade da água. Nos resultados das análises apresentados foram determinados cloretos (Cl^-), dureza total (CaCO_3), ferro total (Fe), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), pH, sódio (Na^+), sólidos totais dissolvidos, sulfato (SO_4^{2-}), cor (uH), turbidez (uT) e amônia total (NH_3). A classificação da potabilidade da água baseou-se nos parâmetros físico-químicos da Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017 - Ministério da Saúde e a CONAMA Nº 396, de 7 de abril de 2008, segundo a qual os resultados obtidos das amostras estavam fora dos padrões para o consumo humano. Assim, a aplicação desses estudos se apresenta como ferramenta fundamental de apoio à gestão da água, principalmente em regiões onde o recurso é escasso e limitado.

Palavras-chave: Qualidade da água. Análise físico-química. Água subterrânea.

ABSTRACT

Groundwater monitoring is fundamental due to the fact water is a limited resource, besides being vulnerable to contamination by anthropic actions and conditions. In this work, a study of water quality of water wells located in the region of The Banabuiú Basin. The wells of Cities of Monsenhor Tabosa and Pedra Branca were covered. In each city were selected 10 wells for water quality analysis. In the results presented were determinate Chloride (Cl^-), Total Hardness (CaCO_3), Total Iron (Fe), Nitrate (NO_3^-), Nitrite (NO_2^-), pH, Sodium (Na^+), Total Dissolved Solids (TDS), Sulfate (SO_4^{2-}), Color (uH), Turbidity (uT), Total Ammonia. The classification of the water potability was based on the physiochemical parameters of the Consolidation Ordinance N° 5, of September, 28th of 2017 - Ministry of Health and CONAMA N° 396 of April 7th of 2008, in which the obtained results from the samples were out of standard human consumption.

Keywords: Quality of the water. Physicochemical analysis. Groundwater.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | – Ciclo hidrológico da água | 19 |
| Figura 2 | – Zona não saturada e zona saturada no subsolo | 20 |
| Figura 3 | – Mapa da Bacia Hidrográfica do Banabuiú | 23 |
| Figura 4 | – Localização dos poços de Monsenhor Tabosa | 30 |
| Figura 5 | – Localização dos poços de Pedra Branca | 32 |
| Figura 6 | – Valores obtidos para Cloretos (Cl^-) | 35 |
| Figura 7 | – Valores obtidos para Dureza Total (CaCO_3) | 36 |
| Figura 8 | – Valores obtidos para Ferro Total (Fe) | 37 |
| Figura 9 | – Valores obtidos para Nitrato (NO_3^-) | 38 |
| Figura 10 | – Valores obtidos para Nitrito (NO_2^-) | 38 |
| Figura 11 | – Valores obtidos para Sódio (Na^+) | 39 |
| Figura 12 | – Valores obtidos para Sólidos Totais Dissolvidos (STD) | 40 |
| Figura 13 | – Valores obtidos para Cor (uH) | 40 |
| Figura 14 | – Valores obtidos para Turbidez (uT) | 41 |
| Figura 15 | – Valores obtidos para Amônia Total (NH_3) | 42 |
| Tabela 1 | – Distribuição de água na Terra | 18 |
| Tabela 2 | – Informações básicas sobre as bacias hidrográficas brasileiras | 18 |
| Tabela 3 | – Alguns parâmetros de qualidade da água | 21 |
| Tabela 4 | – Caracterização hidrológica dos municípios da sub-bacia do Banabuiú | 24 |
| Tabela 5 | – Características dos poços de Monsenhor Tabosa | 31 |
| Tabela 6 | – Características dos poços de Pedra Branca | 32 |
| Tabela 7 | – Métodos e reagentes empregados | 33 |
| Tabela 8 | – Resultados médios com desvio padrão | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| NUTEC | Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará |
| NTU | Unidade Nefelométrica de Turbidez |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| STD | Sólidos Totais Dissolvidos |
| uH | Unidade Hazen |
| uT | Unidade de Turbidez |
| VMP | Valor Máximo Permitido |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Objetivos | 16 |
| <i>1.1.1</i> | <i>Objetivo geral</i> | 16 |
| <i>1.1.2</i> | <i>Objetivos específicos</i> | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | Distribuição da água na natureza | 17 |
| 2.2 | Ciclo hidrológico | 19 |
| 2.3 | Qualidade das águas subterrâneas | 21 |
| 2.4 | Características gerais da Sub-Bacia do Banabuiú | 22 |
| <i>2.4.1</i> | <i>Características geoclimáticas</i> | 24 |
| <i>2.4.2</i> | <i>Características hidrológicas</i> | 25 |
| 2.5 | A proteção dos recursos hídricos subterrâneos | 26 |
| 2.6 | Caracterização dos municípios estudados | 27 |
| <i>2.6.1</i> | <i>Monsenhor Tabosa</i> | 27 |
| <i>2.6.2</i> | <i>Pedra Branca</i> | 27 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODO | 29 |
| 3.1 | Caracterização da área de estudo | 29 |
| 3.2 | Métodos empregados | 32 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 4.1 | Análise físico-química das águas de poços | 34 |
| 5 | CONCLUSÃO | 43 |
| | REFERÊNCIAS | 44 |

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são um recurso estratégico, pois representa o volume total de 29,9% ou 24.000.000 km³ das águas doces da terra (SHIKLOMANOV, 1998). No Brasil, segundo dados do IBGE (2000), cerca de 55 % dos distritos são abastecidos por água subterrânea. Os recursos hídricos superficiais são a principal fonte de suprimento de água no Ceará. Entretanto, a exploração de águas subterrâneas vem crescendo significativamente (DA SILVA, ALMEIDA e ARAÚJO, 2001).

A água subterrânea é no Brasil, assim como no mundo inteiro, uma fonte imprescindível de abastecimento de água. Mesmo em locais de clima e geologia favoráveis ao acúmulo de água superficial, como na região sul e sudeste do país, a importância da água subterrânea emerge em períodos de secas, quando esses recursos superficiais não conseguem atender parcial ou totalmente à demanda (CLEARY, 1989).

As águas subterrâneas possuem elevado padrão de qualidade físico-química e bacteriológica. Por serem naturalmente protegidas (mas não imunes) dos agentes de poluição e contaminação, essas águas dispõem, na maioria dos casos, tratamento físico-químico (BRASIL, 2007). São os processos de filtração e purificação que ocorrem naturalmente durante o percurso de infiltração da água no solo até o armazenamento no aquífero, que tornam a água subterrânea em geral de melhor qualidade que as superficiais (WHATELY; CAMPANILI, 2016). As camadas subterrâneas que podem conter água são chamadas de aquíferos, sendo formações geológicas com poros ou espaços abertos (fissuras ou fraturas) em seu interior (PHILIPPI, 2005).

Apesar de mais protegidas que os recursos superficiais, as águas subterrâneas não estão totalmente isentas de contaminação, de acordo com Silva *et al.* (2014) as fossas sépticas, a disposição inadequada de resíduos sólidos, os postos de combustíveis e a agricultura moderna a qual se utiliza de pesticidas e fertilizantes são fatores responsáveis pela contaminação da água subterrânea por agentes patogênicos (bactérias, vírus e protozoários) e substâncias orgânicas e inorgânicas, sendo a ação antrópica um dos principais problemas para não se poder consumir em seu estado natural.

As águas subterrâneas constituem recursos auto-renováveis. Porém, por influência humana, ocorre um desequilíbrio ecológico, por causa da destruição da vegetação que afeta diretamente os regimes hidrográficos de rios e de fontes naturais (FELLENBERG, 1980).

No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de Setembro de 2017 - Ministério da Saúde estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e

vigilância da qualidade da água para consumo humano e o seu padrão de potabilidade. Muitas pessoas pensam que a água de poços é totalmente limpa e segura, porém, segundo essa Portaria, é necessária a análise da água feita por um laboratório confiável e preciso (BRASIL, 2011).

A qualidade da água pode ser definida levando em consideração seus parâmetros físicos, químicos e biológicos, porém neste trabalho foram considerados apenas os parâmetros físicos e químicos. Embora as características biológicas possam ser consideradas importantes para os padrões de consumo humano.

A metodologia utilizada para a elaboração das análises seguiu o livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, realizadas de acordo com normas e metodologias atualizadas. Nos resultados das análises foram apresentados os gráficos dos parâmetros cloretos (Cl^-), dureza total (CaCO_3), ferro total, nitrato, (NO_3^-), nitrito, (NO_2^-), pH, sódio (Na^+), sólidos totais dissolvidos, sulfato (SO_4^{2-}), cor (uH), turbidez (uT) e amônia total (NH_3).

De acordo com Cleary (1989), as agências governamentais são forçadas a se basearem em dados de poços municipais e particulares. A localização e os dados de litologia desses poços frequentemente deixam muito a desejar. Isso explica, em grande parte, nossa falta de banco de dados adequados sobre água subterrânea, em comparação com os bancos de dados sobre água superficial.

A região nordeste do Brasil, em especial o estado do Ceará, enfrenta a realidade de um regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas no tempo e no espaço. Nesse cenário, a água se torna um bem natural limitado, favorecendo a ocorrência de longos períodos de estiagem no estado do Ceará. Os recursos hídricos subterrâneos tornam-se potenciais fontes alternativas de abastecimento público, sendo uma importante solução para o enfrentamento da seca.

Assim, diante da importância dos aquíferos subterrâneos para o abastecimento humano, dos poucos programas de gestão dessas reservas hídricas e dos riscos de contaminação, faz-se necessária a avaliação da qualidade da água dessas reservas.

Dessa forma, as informações levantadas e sintetizadas neste trabalho formam uma ferramenta importante e indispensável para uma gestão racional dos recursos hídricos dos municípios estudados, na medida em que retrata um panorama real e atual da qualidade da água subterrânea existente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Neste estudo, o objetivo foi comparar e analisar os parâmetros físico-químicos das águas de poços nos Municípios de Pedra Branca e Monsenhor Tabosa localizados na Sub-Bacia Hidrográfica do Banabuiú do estado do Ceará.

1.1.2 Objetivos específicos

- Classificar a água como potável ou não para o consumo humano de acordo com a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de Setembro de 2017 - Ministério da Saúde e o CONAMA 396/2008.
- Espera-se obter uma relação entre a profundidade e qualidade das águas subterrâneas, esperando contribuir para a formação e divulgação de uma base de dados sobre a área em estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Distribuição da água na natureza

Distribui-se pelos três reservatórios principais já referidos, nas seguintes percentagens aproximadas: 96,6 % nos oceanos, 3,4 % nos continentes e 0,013 % na atmosfera. A água dos continentes concentra-se praticamente nas calotas polares, glaciais e no subsolo, distribuindo-se a parcela restante, muito pequena, por lagos, rios, zona superficial do solo e biosfera. A água do subsolo representa cerca de metade da água doce dos continentes, mas a sua quase totalidade situa-se a profundidade superior a 800 m (HARTMAN, 1996).

A precipitação anual sobre os continentes é de 800 mm e reparte-se em escoamento (315 mm) e evapotranspiração (485 mm). A precipitação anual média sobre os oceanos é de 1270 mm, resultando a precipitação anual média sobre o Globo igual a aproximadamente 1100 mm (HARTMAN, 1996).

A água doce não está distribuída uniformemente pelo mundo. Sua distribuição depende essencialmente dos ecossistemas que compõem o território de cada país. Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial.

O consumo diário de água é muito variável ao redor do mundo. Além da disponibilidade do local, o consumo médio de água está fortemente relacionado com o nível de desenvolvimento do país e como nível de renda das pessoas. Uma pessoa necessita de, pelo menos, 40 litros de água por dia para beber, tomar banho, escovar os dentes, lavar as mãos, cozinhar etc. Dados da ONU, porém, apontam que um europeu, que tem em seu território 8% da água doce no mundo, consome em média 150 litros de água por dia. Já um indiano, consome 25 litros por dia.

Observa-se no Tabela 1 que, de toda a água existente no planeta Terra, somente 2,7% é água doce. Pode-se também verificar que de toda a água doce disponível para uso da humanidade (desconsiderando-se a água doce na fase sólida), cerca de 98% está encontrada na forma de água subterrânea.

Tabela 1– Distribuição da água na Terra

| Tipo | Ocorrência | Volumes (km ³) | Porcentagem |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------|
| Água doce superficial | Rios | 1.250 | 0,00009 |
| | Lagos | 125.000 | 0,00919 |
| Água doce subterrânea | Umidade do solo | 67.000 | 0,00493 |
| | Até 800 metros | 4.164.000 | 0,30618 |
| | Abaixo de 800 metros | 4.164.000 | 0,30618 |
| Água doce sólida (gelo) | Geleiras e Glaciais | 29.200.000 | 2,14706 |
| Água salgada | Oceanos | 1.320.000.000 | 97,05882 |
| | Lagos e mares salinos | 105.000 | 0,00772 |
| Vapor de água | Atmosfera | 12.900 | 0,00095 |
| Total | | 1.360.000.000 | 100 |

Fonte: HARTMAN, 1996.

De maneira geral, o Brasil é um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos, pois abriga 13,7% da água doce do mundo. Porém, a disponibilidade desses recursos não é uniforme. Como demonstrado no quadro abaixo, mais de 73% da água doce disponível no país encontra-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Apenas 27 % dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para as demais regiões, onde residem 95% da população do país (LIMA, 1999). Não só a disponibilidade de água não é uniforme, mas a oferta de água tratada reflete os contrastes no desenvolvimento dos Estados brasileiros. Enquanto na região Sudeste 87,5% dos domicílios são atendidos por rede de distribuição de água, no Nordeste a porcentagem é de apenas 58,7%.

Tabela 2 - Informações básicas sobre as bacias hidrográficas brasileiras

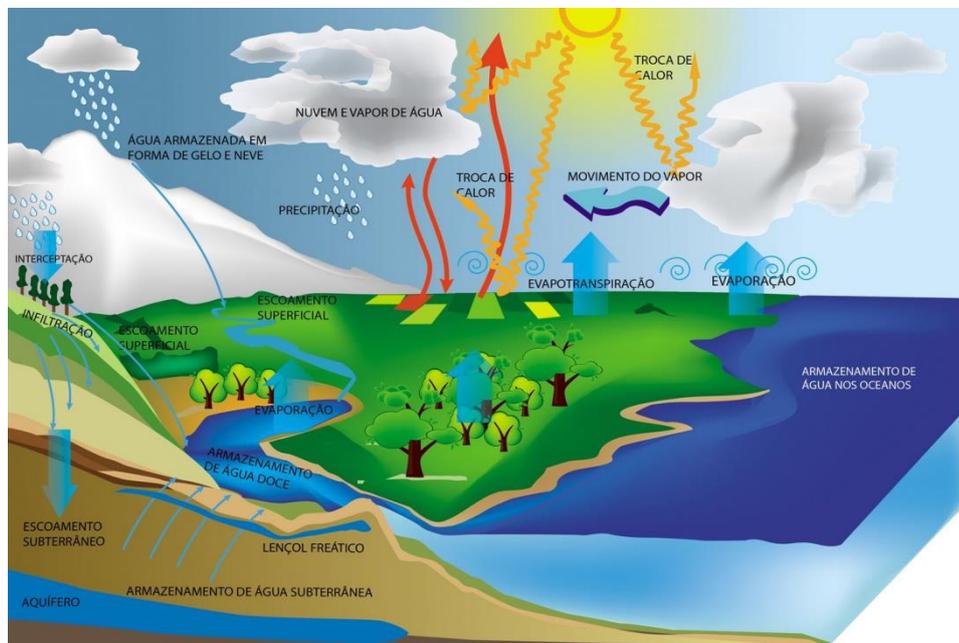
| Quadro demonstrativo – Informações básicas sobre as bacias hidrográficas brasileiras | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|---------------------------------|------|-------------|------|----------------------|---------|-----------------|-----------|-----------------|
| Nº | Bacia Hidrográfica | Área | | População | | Densidade | Vazão | Disponibilidade | Hídrica** | Disponibilidade |
| | | 10 ³ KM ² | % | Hab. | % | Hab./Km ² | | | % | |
| 1 | Amazônica | 3.900 | 45,8 | 6.687.893 | 4,3 | 1,7 | 133.380 | 4206 | 73,2 | 628.940 |
| 2 | Tocantins | 757 | 8,9 | 3.503.365 | 2,2 | 4,6 | 11.800 | 372 | 6,5 | 106.220 |
| 3 | Atlântico N/NE | 1.029 | 12,1 | 31.253.068 | 19,9 | 30,4 | 9.050 | 285 | 5,0 | 9.130 |
| 4 | São Francisco | 634 | 7,4 | 11.734.966 | 7,5 | 18,5 | 2.850 | 90 | 1,6 | 7.660 |
| 5 | Atlântico Leste | 545 | 6,4 | 35.880.413 | 22,8 | 65,8 | 4.350 | 137 | 2,4 | 3.820 |
| 6A | Paraguai** | 368 | 4,3 | 1.820.569 | 1,2 | 4,9 | 1.290 | 41 | 0,7 | 22.340 |
| 6B | Paraná | 877 | 10,3 | 49.924.540 | 31,8 | 56,9 | 11.000 | 347 | 6,0 | 6.950 |
| 7 | Uruguai** | 178 | 2,1 | 3.837.972 | 2,4 | 21,6 | 4.150 | 131 | 2,3 | 34.100 |
| 8 | Atlântico Sudeste | 224 | 2,6 | 12.427.377 | 7,9 | 55,5 | 4.300 | 136 | 2,4 | 10.910 |
| | Brasil | 8.512 | 100 | 157.070.163 | 100 | 18,5 | 182.170 | 5.745 | 100 | 36.580 |

Fonte: SIH/Aneel 1999 * IBGE, 1996. ** Produção hídrica brasileira.

3.2 Ciclo hidrológico

De acordo com Lima (1986), o ciclo hidrológico (Figura 1) representa o movimento da água no meio físico. Dentro do ciclo hidrológico, a água pode estar no estado gasoso, líquido ou sólido, distribuindo-se tanto na subsuperfície e superfície da Terra como na atmosfera. Portanto, a água está em constante circulação, passando de um meio a outro e de um estado físico a outro, sempre mantendo o equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no sistema. Os processos que permitem esta circulação da água são: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo.

Figura 1 – Ciclo hidrológico da água



Fonte: Engenharia Onde Já Civil , 2011.

A precipitação compreende a água que cai na superfície da Terra. É o termo geral dado a todas as formas, como chuvisco, chuva, neve, saraiva, granizo, orvalho, geadas etc. A água evaporada se transforma em precipitação através de fenômenos onde há perda de calor, fazendo com que a mesma retorne à superfície terrestre. No caso da chuva, o vapor de água se condensa na forma de gotículas, até que estas atinjam o tamanho necessário para precipitar (ESTEVEZ *et al.*, 2011).

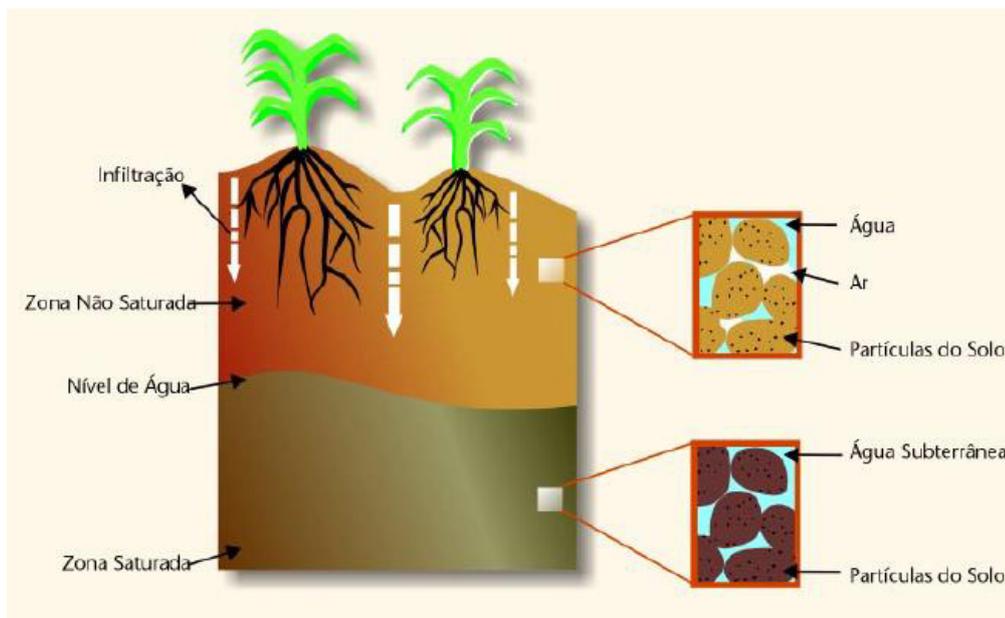
A formação dos lençóis subterrâneos tem origem na infiltração e na percolação das águas pluviais e superficiais. Após a água chegar à superfície, ela, basicamente, pode infiltrar no solo, ou escoar superficialmente, a divisão da parcela de água que escoar varia em

função da duração da precipitação, de sua intensidade e capacidade de infiltração do solo. Quanto maior a capacidade de infiltração do solo, maior será a formação de lençóis subterrâneos, que podem garantir melhor alimentação dos rios em tempos secos. Também é menor a erosão e o assoreamento de corpos d'água advindo do carreamento de partículas durante o escoamento superficial (ESTEVEZ *et al.*, 2011).

A água que continua a infiltrar-se e atinge a zona saturada das rochas, entra em circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos). Na zona saturada (aquífero) os poros ou fraturas das formações rochosas estão completamente preenchidos por água (saturados). O topo da zona saturada corresponde ao nível freático, como mostrado na figura 2. A água subterrânea pode ressurgir à superfície (nascente) e alimentar as linhas de água ou ser descarregada diretamente no oceano. A quantidade de água e a velocidade a que esta circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia (Instituto Geológico e Mineiro, 2001).

Embora possa parecer um mecanismo contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, é na realidade bastante diferente, pois o movimento da água em cada uma das fases do ciclo é feito de um modo bastante aleatório, variando tanto no espaço como no tempo (CARVALHO; SILVA, 2006).

Figura 2 – Zona não saturada e zona saturada no subsolo



Fonte: Instituto Geológico e Mineiro, 2001.

2.3 Qualidade da água subterrânea

Para o consumo humano a água potável deve atender os parâmetros dispostos na Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de Setembro de 2017 - Ministério da Saúde que trata dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e de seu padrão de potabilidade. Para águas subterrâneas, a qualidade da água deve atender, além da portaria supracitada, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 396, de 03 de abril de 2008 (BRASIL, 2008), que estabelece a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como medidas de prevenção e controle da poluição.

Os diversos componentes na água, e que alteram seu grau de pureza podem ser retratados, de uma maneira ampla e simplificados, em termos de suas características físicas, químicas e biológicas. Estas características podem ser traduzidas, mensuradas e avaliadas sob a forma de parâmetros de qualidade de água. Estes parâmetros podem ser físicos, químicos e biológicos (SPERLING, 2005).

Tabela 3 – Alguns parâmetros de qualidade da água

| Parâmetros de qualidade da água | | |
|---------------------------------|-----------------------------|--|
| Físico | Químico | Biológico |
| Cor | pH | Organismos indicadores de contaminação fecal |
| Turbidez | Alcalinidade | Algas diversas |
| Sabor e Odor | Acidez | Bactérias diversas |
| Temperatura | Dureza | |
| | Ferro e Manganês | |
| | Cloretos | |
| | Nitrogênio | |
| | Fósforo | |
| | Oxigênio Dissolvido | |
| | Matéria orgânica | |
| | Micropoluentes inorgânicos; | |
| | Micropoluentes orgânicos; | |

Fonte: SPERLING, 2005, adaptado pelo autor (2019).

Todos os contaminantes, com exceção dos gases, contribuem para a carga de

sólidos. Resumidamente, os sólidos podem ser classificados de acordo com suas características físicas de tamanho e estado (suspensos, coloidais ou dissolvidos), químicas (orgânicos e inorgânicos) (SPERLING, 2005).

As águas subterrâneas dificilmente são portadoras de características perceptíveis, exceto o sabor, cor, odor, decorrente de sais dissolvidos em quantidade excessiva. As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios percorridos, guardando uma relação com os tipos de rochas drenadas e com os produtos das atividades humanas adquiridas ao longo de seu trajeto (ZIMBRES, 2006).

A água é um excelente solvente e pode conter inúmeras substâncias dissolvidas. Ao longo do seu percurso a água vai interagindo com o solo e formações geológicas, dissolvendo e incorporando substâncias. Por esta razão a água subterrânea é mais mineralizada que a água de superfície (Instituto Geológico e Mineiro, 2001).

2.4 Características gerais da Sub-Bacia do Banabuiú

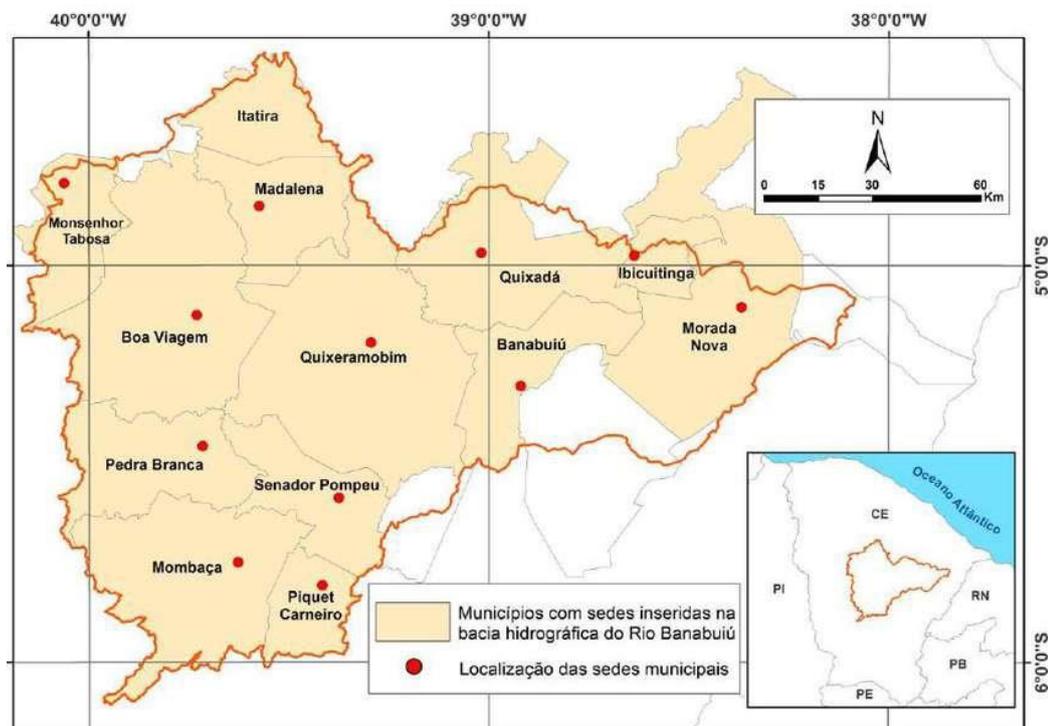
A Sub-bacia do rio Banabuiú compreende, essencialmente, os sertões centrais do Ceará mais fortemente submetidos aos rigores da semiaridez. O rio Banabuiú é o mais importante rio desta Sub-bacia. Drena uma área de 19.810 km², desenvolve-se no sentido oeste-leste, percorrendo um curso total de 314 km, até desaguar no rio Jaguaribe nas proximidades da cidade de Limoeiro do Norte.

A Sub-bacia do Banabuiú drena 15 (quinze) municípios: Banabuiú, Boa Viagem, Ibicuitinga, Itatira, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Morada Nova, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixadá, Quixeramobim, Senador Pompeu, Limoeiro do Norte e Milhã, estes dois últimos drenados parcialmente (CEARÁ, 2009).

O clima é do tipo Tropical Quente Semiárido com temperaturas médias anuais em torno dos 26°C a 28°C. A média pluviométrica anual aproxima-se dos 725,4 mm (CEARÁ, 2009).

A Sub-bacia do Banabuiú apresenta um padrão geológico simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino (96,53%), representadas por gnaisses e migmatitos diversos, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica, Pré-Cambriano. Sobre esse substrato, repousam os sedimentos (3,47%) terciários do Grupo Barreiras, coberturas terciário-quadernárias, que afloram sob a forma de manchas esparsas, ao longo da região, e coberturas aluviais, de idade quadernária, encontradas ao longo dos cursos d'água (CEARÁ, 2009).

Figura 3 – Bacia Hidrográfica do Banabuiú com a localização das sedes municipais



Fonte: Costa, 2017.

As litologias do embasamento cristalino são recobertas por solos rasos onde há maior ocorrência de solos Neossolos Litólicos, Planossolos e Vertissolos nos sedimentos Cenozóicos do período Quaternário (recentes) e nos Aluviões do rio Banabuiú (solos Neossolos Flúvicos, com grande potencial agrícola), e rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano no restante da área, onde predominam Luvisolos (solos medianamente profundos e moderadamente ácidos, porém pedregosos e susceptíveis à erosão) e Planossolos Solódicos (rasos, susceptíveis à erosão, com limitada fertilidade natural), além de manchas de Argissolos Eutróficos (solos medianamente profundos e com grande potencial agrícola) (CEARÁ, 2009).

Os terrenos da Sub-bacia do Banabuiú são revestidos, predominantemente, por caatinga degradada, onde há certa frequência de cactáceas. Os tipos predominantes de vegetação são a Caatinga Arbustiva Aberta (no centro da bacia) e a Caatinga Arbustiva Densa (na maior parte das áreas leste e oeste da bacia) (CEARÁ, 2009).

2.4.1 Características geoclimáticas

De acordo com a Classificação de Köppen, o clima do Território Sertão Central é do tipo semiárido, com temperaturas médias anuais variando entre 26°C e 32°C (máxima),

assim como na maioria do Estado. Porém, em função da maior ou menor exposição aos sistemas extratropicais, as temperaturas mínimas podem variar de local para local. O Território em questão apresenta uma acentuada irregularidade na distribuição das chuvas. Essa irregularidade é função das características da circulação atmosférica e oceânica, podendo-se incluir também as condições geográficas locais. O clima semiárido possui ainda como características marcantes elevadas temperaturas, baixas amplitudes térmicas, baixos índices de nebulosidade, forte insolação, elevadas taxas de evaporação, excesso ou escassez, antecipação ou retardamento das chuvas (BRASIL, 2010).

Tabela 4 - Caracterização hidrológica dos municípios da sub-bacia do Banabuiú

| Município | Precipitação Pluviométrica Média Anual (mm)* | Deflúvio Médio Anual (mm) | Volume Escoado Médio Anual (hm ³) | Evapotranspiração Potencial (mm) |
|-------------------|--|----------------------------|---|----------------------------------|
| Banabuiú | 815 | 62 | 66 | 1929 |
| Boa Viagem | 703 | 59 | 156 | 2023 |
| Ibicuitinga | 974 | 65 | 24 | 1933 |
| Itatira | 807 | 66 | 57 | 1961 |
| Limoeiro do Norte | 720 | 45 | 28 | 1933 |
| Madalena | 692 | 58 | 21 | 2093 |
| Mombaça | 816 | 59 | 127 | 1929 |
| Monsenhor Tabosa | 646 | 56 | 65 | 2080 |
| Morada Nova | 742 | 77 | 200 | 1933 |
| Pedra Branca | 853 | 65 | 78 | 1943 |
| Piquet Carneiro | 897 | 62 | 37 | 1886 |
| Quixadá | 838 | 70 | 188 | 2093 |
| Quixeramobim | 707 | 66 | 229 | 2093 |
| Senador Pompeu | 730 | 62 | 59 | 1927 |

Fonte: PLANERH, 1992.

Os dados de Precipitação Média Anual para cada município foram fornecidos pela Funceme, e calculados a partir de uma série de dados de 20 anos, de 1970 e 1990, demonstram a baixa média pluviométrica para a região.

A Tabela 4 mostra outras informações importantes que se relacionam às características de escoamento e armazenamento das águas, tanto superficiais como subterrâneas. Assim, pode-se verificar o Deflúvio Médio Anual nos municípios, que indica a lâmina média de água que escoam sobre a superfície, e está diretamente relacionada às características geológicas, geomorfológicas e de uso e ocupação do solo da região; o Volume Escoado que indica qual a contribuição de cada um dos municípios na reservação; e a Evapotranspiração Potencial, que corresponde à parcela da precipitação que retorna a

atmosfera antes mesmo de atingir o solo, ou seja, a parcela que, efetivamente, não é utilizada na oferta.

2.4.2 Características hidrológicas

Conforme a COGERH, a bacia possui déficit hídrico considerável para todos os municípios nela inseridos, isso se deve às elevadas temperaturas e altas taxas de evaporação, aliadas às fracas pluviosidades, desta forma, o escoamento na rede de drenagem natural fica praticamente restrito aos períodos chuvosos. A escassez pluviométrica acentua-se a oeste, diminuindo à leste da Bacia. O alto nível de açudagem é a característica maior dessa Bacia. Possui um total de 5.825 reservatórios, destes, 1.415 apresentam área superior a 5 ha. Destaca-se o açude Banabuiú, responsável por mais de 50% do volume de acumulação da Bacia, sendo este a terceira reserva hídrica mais importante da Bacia do Jaguaribe.

Esta sub-bacia apresenta dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais).

Os sedimentares se caracterizam como mais importantes por possuírem uma porosidade primária e, nos termos arenosos, uma elevada permeabilidade, traduzindo-se em unidades geológicas com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Os cristalinos (fissurais) apresentam um “baixo potencial”, pois se encontram inseridos em áreas de rochas do embasamento cristalino, sendo as zonas de fraturas, os únicos condicionantes da ocorrência d'água nestas rochas. A recarga destas fraturas se dá através dos rios e riachos que estão encaixados nestas estruturas, o que ocorre somente no período chuvoso (CEARÁ, 2009).

A quantificação e caracterização das captações de água subterrânea na sub-bacia, geradas a partir da sistematização do cadastro dos pontos d'água da CPRM e nos cadastros de poços da Funceme, Sohidra, Cogerh, DNOCS, Funasa, SDR e empresas privadas, até 2006, mostram a existência de 2.900 pontos d'água, sendo: 2.624 poços tubulares; 272 poços amazonas; e 4 fontes naturais, captando água tanto em rochas sedimentares como cristalinas (CEARÁ, 2009).

A grande maioria das captações (90,48%) desta sub-bacia é representada por poços tubulares, são também eles que possuem mais dados técnicos (profundidade, vazão e qualidade d'água) e, portanto, os que podem caracterizar os aquíferos desta Sub-bacia. Os 2.624 poços tubulares estão distribuídos por toda a sub-bacia e captam água dos seguintes aquíferos: aluviais (44,55%) e fissurais (55,45%). (CEARÁ, 2009).

Nos terrenos cristalinos os problemas de qualidade natural das águas subterrâneas estão concentrados no semi-árido do Nordeste. Os poços na região exploram fraturas isoladas, muitas vezes com grandes diferenças de salinidade de uma fratura para a outra vizinha. Medidas de carbono-14 revelaram águas novas, com poucas dezenas ou centenas de anos de tempo de permanência no aquífero. Assim, a alta salinização não pode ser interna, por dissolução no aquífero, pois estes processos geoquímicos, em ambiente fechado, são relativamente lentos (Santiago et al., 2000). A elevada salinidade das águas subterrâneas do cristalino semi-árido nordestino está relacionada à baixa pluviometria, que faz com que os sais transportados pela chuva (aerossóis) e acumulados no solo e fraturas não sejam lixiviados. A alta evaporação favorece a concentração dos sais. Assim, as águas que infiltram acumulam-se nas fraturas e no solo e enriquecem em sais.

A falta de critérios de locação de poços, de programas de manutenção das obras de captação e os problemas de salinização das águas tornam muito elevada a quantidade de poços abandonados e desativados nas áreas do cristalino nordestino. No Estado do Ceará, em que 75% da área está situada sobre terreno cristalino, dos 11.889 poços tubulares cadastrados, 3.895 poços, ou seja, 33% estavam desativados ou abandonados (CPRM, 1998).

2.5 A proteção dos recursos hídricos subterrâneos

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos é um aspecto crítico, já que os custos de remediação de aquíferos são muito altos e tecnicamente é muito difícil a sua recuperação para as condições originais (ANA, 2007).

A gestão da qualidade das águas subterrâneas é considerada na legislação federal através de duas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A Resolução nº 15, de 2001, estabelece que os Estados devem orientar os municípios sobre as diretrizes de gestão integrada das águas subterrâneas, propondo mecanismos de estímulo à proteção das áreas de recarga dos aquíferos e a Resolução nº 22, de 2002, afirma que os planos de bacia devem explicitar medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, sendo que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada com medida para alcance dos objetivos propostos (ANA, 2007).

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos, permitindo a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essenciais para várias

atividades de gestão, tais como: planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água (ANA, 2007).

2.6 Caracterização dos municípios estudados

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) é uma empresa vinculada ao Ministério de Minas e Energia e que tem como missão, garantir as informações geológicas e hídricas fundamentais ao desenvolvimento econômico e social do país, diante do atual momento de extrema escassez de água pelo qual passa o estado do Ceará, concebeu o **“Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará”**. Este Programa tem como meta básica o levantamento das condições atuais de todas as fontes (poços tubulares, poços amazonas e fontes naturais) que captam e produzem água subterrânea existentes em cada município do estado, fornecendo subsídios para implantação imediata, por parte dos órgãos governamentais, de ações corretivas em captações passíveis de recuperação, na expectativa de aumentar a oferta de água, minorar o drama atual da população do Ceará.

2.6.1 Monsenhor Tabosa

Conforme o Atlas do Ceará (IPLANCE, 1997) e da SRH-CE (Plano Estadual dos Recursos Hídricos, 1992) verifica-se que as condições climáticas locais são caracterizadas por temperaturas entre 23 °C (média das mínimas) e 29 °C (média das máximas), e uma precipitação de chuvas anual em torno de 700 mm; cálculos de balanço hídrico mostram predomínio da quantidade de chuvas sobre a evapotranspiração somente, e pouco, nos meses de março a maio.

No município ocorrem solos litólicos e podzólicos, apresentando uma cobertura vegetal de caatinga arbórea (floresta caducifólia espinhosa) e mata seca (floresta subcaducifólia tropical pluvial). Pode-se distinguir dois domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas e depósitos aluvionares.

O levantamento realizado no município de Monsenhor Tabosa pelo Anuário do Ceará (2018-2019) registrou-se a presença de 116 poços.

Com relação à distribuição desses poços por domínios hidrogeológicos, verificou-se que todos os poços tubulares ocorrem em rochas cristalinas, assim como os poços amazonas. Os demais poços amazonas, e as fontes naturais, ocorrem ao longo de depósitos aluvionares.

2.6.2 Pedra Branca

Conforme o Atlas do Ceará (IPLANCE, 1997) e da SRH–CE (Plano Estadual dos Recursos Hídricos, 1992) mostram que o clima do município de Pedra Branca apresenta temperaturas entre 23 °C (média nos meses de chuva) e 29 °C (média nos meses de estiagem), e precipitação pluviométrica média anual em torno dos 700 mm. Cálculos de balanço hídrico mostram predomínio da quantidade de chuvas sobre a evapotranspiração somente, e pouco, nos meses de março a maio.

No município ocorre um quadro geológico relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses, granitos e migmatitos diversos, associados a rochas metabásicas e metaultrabásicas, de idade pré-cambriana. Sobre esse substrato, repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município.

O levantamento realizado no município de Pedra Branca pelo Anuário do Ceará (2018-2019) registrou-se a presença de 96 poços.

Com relação à distribuição desses poços por domínios hidrogeológicos, verificou-se que todos os poços tubulares ocorrem em rochas cristalinas, assim como os poços amazonas. Os demais poços amazonas, e as fontes naturais, ocorrem ao longo de depósitos aluvionares.

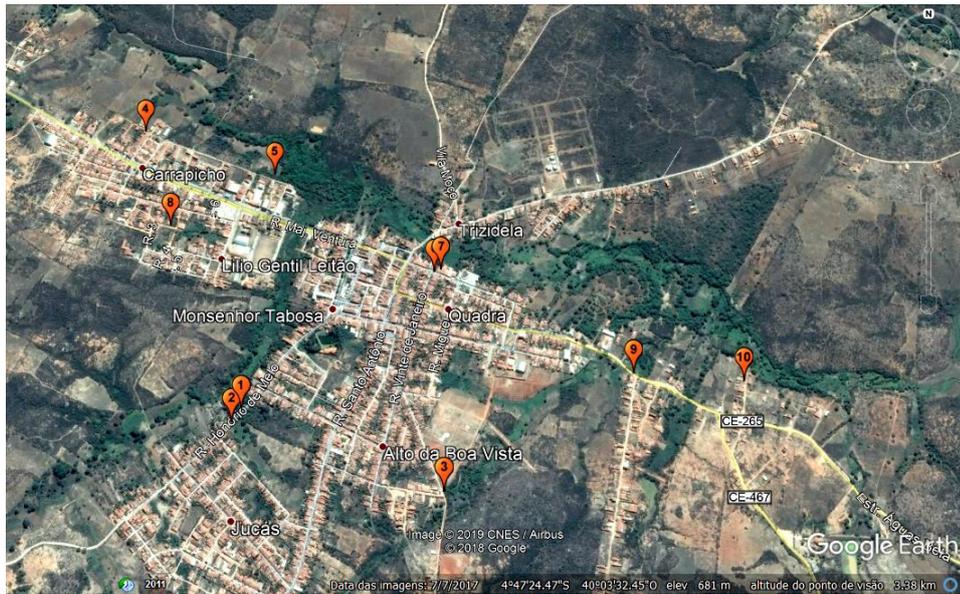
3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Caracterização da área de estudo

O período no qual se realizou as coletas e as análises foi nos meses fevereiro a junho de 2018. A fim de caracterizar qualitativamente as águas subterrâneas da área, foram utilizadas 20 amostras de água captadas de 20 poços localizados nas áreas em estudo, referente aos municípios de Monsenhor Tabosa e Pedra Branca, contendo os seguintes íons e parâmetros: cloretos (Cl^-), dureza total (CaCO_3), ferro total, nitrato, (NO_3^-), nitrito, (NO_2^-), pH, sódio (Na^+), sólidos totais dissolvidos, sulfato (SO_4^{2-}), cor (uH), turbidez (uT), amônia total (NH_3), e para se avaliar a qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano foi utilizada a Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde e a CONAMA 396/2008. Apesar que a portaria nº 5/2017 ser uma legislação aplicada para água tratada, foi utilizada já que a Resolução do CONAMA 396/08 não estabelece valores para alguns parâmetros que foram avaliados.

A figura abaixo mostra a localização dos poços de Monsenhor Tabosa. Esses poços foram localizados com a utilização os dados publicados no “Atlas dos Recursos Hídricos do Ceará”, que está hospedado no site da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, <https://portal.cogerh.com.br/>. O Atlas disponibiliza de informações referentes aos recursos hídricos do Ceará, através de um sistema de informação georreferenciado interligado a um banco de dados, utilizando software livres que atenda aos interesses de pesquisas referentes a recursos hídricos e obras de infraestrutura hídrica.

Figura 4 - Localização dos poços de Monsenhor Tabosa



Fonte: Adaptado de Google Earth©, 2019.

Outras características dos poços cearenses estão contidas na Tabela 5 e 6, na qual há informações relativas à profundidade dos poços perfurados e a localização através das coordenadas geográficas. No que diz respeito à profundidade, os poços do cristalino são mais rasos, de acordo com CPRM, a profundidade máxima é em torno de 80 metros, assim como poços de aquífero cristalino apresentam valores de vazão bem inferiores àqueles localizados no sedimentar, considerando vazões no intervalo de 3000 L/h a 5000 L/h. Em relação a precipitação do ano de 2018, de acordo com a FUNCEME, no Município de Monsenhor Tabosa, o observado foi de 483,6 mm, 29,9 % abaixo do normal (690,1 mm). De acordo com a tabela abaixo, a média das profundidades dos poços foram 65,6 m, 80 m como a máxima profundidade.

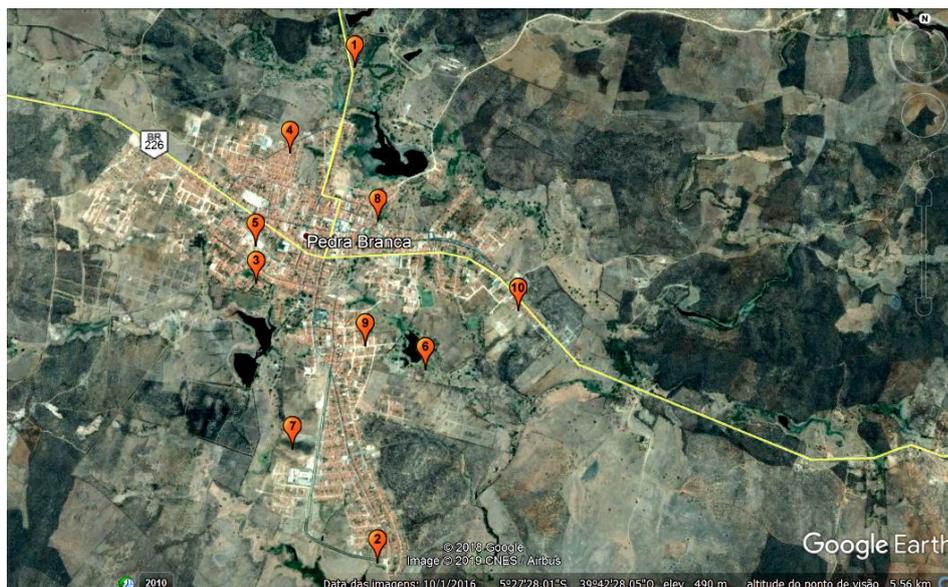
Tabela 5 - Características dos poços de Monsenhor Tabosa

| Poço | Profundidade (m) | Coordenadas geográficas |
|------|------------------|-------------------------|
| 1 | 40 | 4°47'36,1"S 40°3'57,8"O |
| 2 | 60 | 4°47'37,5"S 40°3'58,8"O |
| 3 | 85 | 4°47'44,5"S 40°3'36,7"O |
| 4 | 72 | 4°47'5,5"S 40°4'10,1"O |
| 5 | 41 | 4°47'10,4"S 40°3'55,6"O |
| 6 | 60 | 4°47'21,5"S 40°3'37,9"O |
| 7 | 60 | 4°47'21,2"S 40°3'37,3"O |
| 8 | 80 | 4°47'32,4"S 40°3'16,9"O |
| 9 | 78 | 4°47'33,6"S 40°3'7,6"O |
| 10 | 80 | 4°47'33,3"S 40°3'5,3"O |

Fonte: Adaptado de COGERH, 2019.

Da mesma forma, as amostras de água foram coletadas de 10 dos poços de Pedra Branca, de acordo com a numeração da figura abaixo. Assim como as informações de profundidade e vazão de cada poço. A tabela 6 reflete as características gerais de profundidade dos poços e da vazão da águas subterrâneas. A profundidade média dos poços é de 82,8 m, alcançando o máximo de 92,0 m. Quanto ao resultado da precipitação do ano de 2018 no Município de Pedra Branca, o observado foi de 622,8 mm, ficando com um desvio negativo de 11,9 %.

Figura 5 - Localização dos poços de Pedra Branca



Fonte: Adaptado de Google Earth©, 2019.

Tabela 6 - Características dos poços de Pedra Branca

| Poço | Profundidade (m) | Coordenadas geográficas |
|------|------------------|--------------------------|
| 1 | 86 | 5°26'41,0"S 39°42'56,0"O |
| 2 | 76 | 5°28'19,9"S 39°42'46,9"O |
| 3 | 80 | 5°27'26,2"S 39°43'13,5"O |
| 4 | 80 | 5°26'59,4"S 39°43'8,2"O |
| 5 | 92 | 5°27'18,6"S 39°43'14,0"O |
| 6 | 85 | 5°27'42,2"S 39°42'39,1"O |
| 7 | 90 | 5°27'58,7"S 39°43'4,5"O |
| 8 | 90 | 5°27'12,8"S 39°42'49,8"O |
| 9 | 72 | 5°27'37,9"S 39°42'51,2"O |
| 10 | 77 | 5°27'29,8"S 39°42'21,1"O |

Fonte: Adaptado de COGERH, 2019.

3.2 Métodos empregados

As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas de 2 litros, esterilizadas, com tampas rosqueadas, o que permitiu serem hermeticamente fechadas, etiquetadas (contendo os dados relativos ao número do ponto amostrado, data e hora de coleta) e acondicionadas em caixas térmica com gelo para, em seguida, serem encaminhadas ao

laboratório de análise. Posteriormente, foram analisadas no Laboratório de Química Ambiental em um órgão público seguindo as diretrizes analíticas gerais do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Os métodos e reagentes empregados seguem a tabela a seguir.

Tabela 7 – Métodos e reagentes empregados

| PARÂMETROS | MÉTODOS | REAGENTES |
|--|--|--|
| pH à 25°C | 4500 H ⁺ B – APHA, 2012 | Soluções tampões pH 4,0 e 7,0 |
| Ferro total (mgFe.L ⁻¹) | 3500 Fe – APHA, 2012 | Solução padrão de Ferro de 10,0 ppm HCl concentrado Cloridrato de hidroxilamina Acetato de amônia Ortofenantrolina |
| Dureza Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹) | 2340 C - APHA, 2012 | Tampão pH 10 Eriocromo T EDTA 0,01N |
| Cloretos (mgCl ⁻ .L ⁻¹) | 4500 Cl ⁻ B - APHA, 2012 | Solução padrão de AgNO ₃ 0,0141 M Cromato de potássio |
| Nitrato (NO ₃ ⁻) | Colorimétrico salicilato de sódio, Rodier, 1990 | Solução padrão de KNO ₃ de 100,0 ppm, salicilato de sódio, ácido sulfúrico e tartarato de sódio e potássio. |
| Nitrito (NO ₂ ⁻) | 4500-NO ₂ B colorimétrico N-naftil | Solução colorimétrica (sulfanilamida + N-1- naftil etilenodiamino). |
| Dureza total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹) | 2340 DT – APHA, 2012 | Solução padrão de EDTA 0,01 M Solução tampão pH 10 Trietanolamina Negro de Eriocromo T |
| Sólidos Totais Dissolvidos | 2540 C - APHA, 2012 | Gravimetria |
| Sulfato (SO ₄ ²⁻) | 214/IV, LUTZ, 2005. | Solução padrão de 100,0 ppm, ácido-sal e cloreto de bário. |
| Cor (uH) | 2120 B - APHA, 2012 | - |
| Turbidez (uT) | 2130 B - APHA, 2012 | Padrões 0,1 a 1000 NTU |
| Amônia (NH ₃) | 4500 NH ₃ D - APHA, 2012 | ZnSO ₄ , NaOH, sal de rochele, reagente nessler. |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

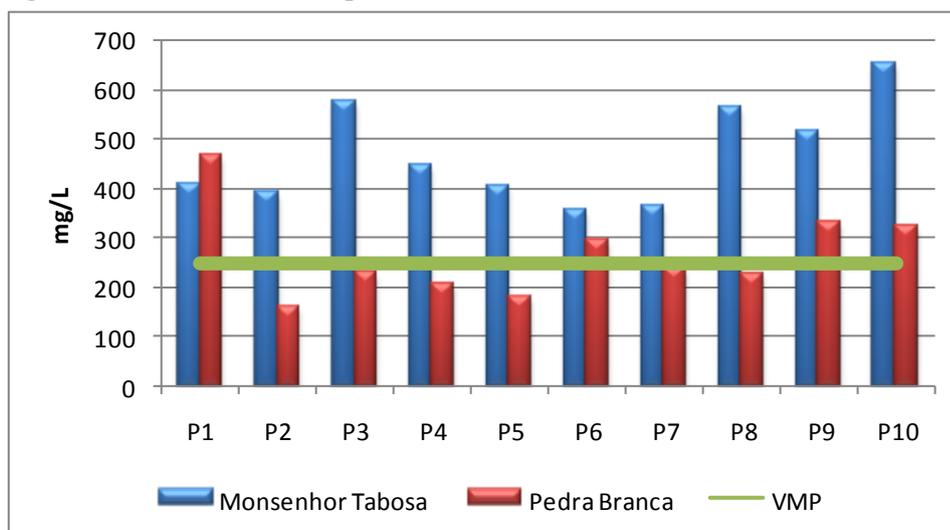
4.1 Análise físico-química das águas de poços

Nas águas subterrâneas, a grande maioria das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico (cátions e ânions) (CPRM, 2008). Os resultados foram agrupados por cada parâmetro e comparado em duas cidades localizadas na Bacia do Banabuiú. Na maioria das amostras, os parâmetros analisados atingiram valores acima do permitido pela legislação, exceto pH, que obteve uma variação de 6,63 a 7,77 para o Município de Monsenhor Tabosa e 7,14 e 8,12 para o Município de Pedra Branca. O potencial hidrogeniônico diz respeito à quantidade de hidrogênio ionizável (H^+) presente numa solução, que indica o nível de acidez, neutralidade ou basicidade de uma substância. O valor obtido encontra-se dentro da faixa permitida pela legislação brasileira, que estabelece um valor de pH entre a 6 a 9,5 (BRASIL, 2011). Assim como Sulfato que atendeu em todos os poços, com variações de 42,0 e 150,5 para Monsenhor Tabosa e 5 e 39,2 para Pedra Branca, considerando o limite máximo de 250 mg/L.

A figura 5 apresenta os resultados para o parâmetro cloreto. De acordo com a Legislação do Ministério da Saúde, Portaria nº 5/2017, observa-se com a clareza que a qualidade da água no parâmetro cloreto está bem acima do valor máximo permitido (VMP = 250 mg/L) em todas as amostras analisadas do município Monsenhor Tabosa. Para o município de Pedra Branca, 40% das amostras foram fora do padrão.

Nas águas doces, a presença de cloreto ocorre naturalmente ou pode ser decorrente de poluições por parte da água do mar, esgotos domésticos, ou despejos industriais (BECKER, 2008). De acordo com CPRM, as águas subterrâneas apresentam, geralmente, teores de cloretos inferiores a 100 mg/L, sendo o cloreto um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixões.

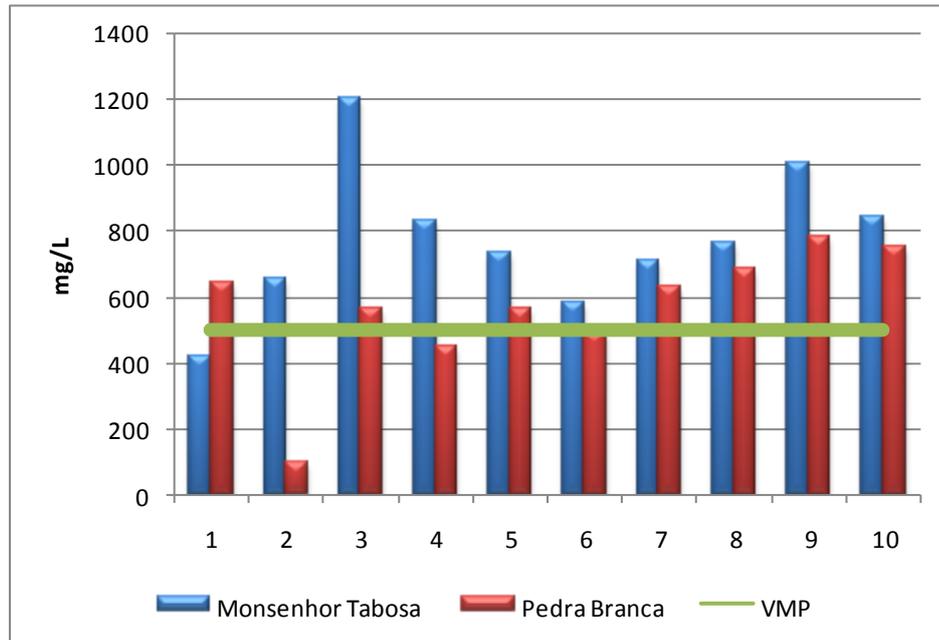
Contendo mais de 350 mg/L é contra-indicada para maior parte das irrigações e usos industriais. Com 500 mg/L, o sabor da água torna-se desagradável, entretanto, animais podem beber água com valores superiores a 3000 mg/L (JOHNSON, 1974). Com a média de 466,21 mg/L, as águas de poços de Monsenhor Tabosa são indicadas apenas para dessedentação de animais, já as de Pedra Branca com média de 265,89 mg/L, podemos incluir o uso para irrigação e indústria.

Figura 6 – Valores obtidos para Cloretos (Cl⁻)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 7 apresenta os resultados para o parâmetro Dureza Total. De acordo com a Legislação do Ministério da Saúde, Portaria nº 5/2017, observa-se com a clareza que a qualidade da água no parâmetro dureza total está bem acima do valor máximo permitido (VMP = 500 mg/L) em 90% as amostras analisadas do município Monsenhor Tabosa e 80% das amostras de Pedra Branca. A dureza da água é geralmente causada pela presença de sais de Cálcio e de Magnésio, uma água é considerada “dura” quando contém na sua composição valores significativos, de 150 a 300 mg/L CaCO₃ e “macia” quando os contém em pequenas quantidades, de 0 a 50 mg/L, de acordo com Baird e Cann (2005). Elevadas concentrações são indicação da passagem da água pelo solo, pois esse parâmetro é muitas vezes um reflexo do intemperismo das rochas e dos solos, pela dissolução lenta do calcário e de outros minerais. Segundo Sperling (2005), águas de elevada dureza possuem efeitos laxativos e sabor desagradável.

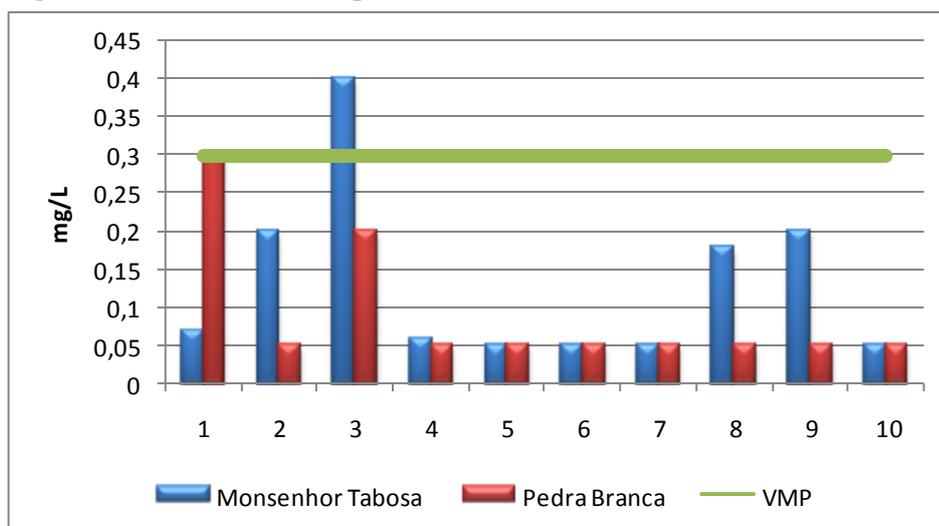
Figura 7 – Valores obtidos para Dureza Total (CaCO_3)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

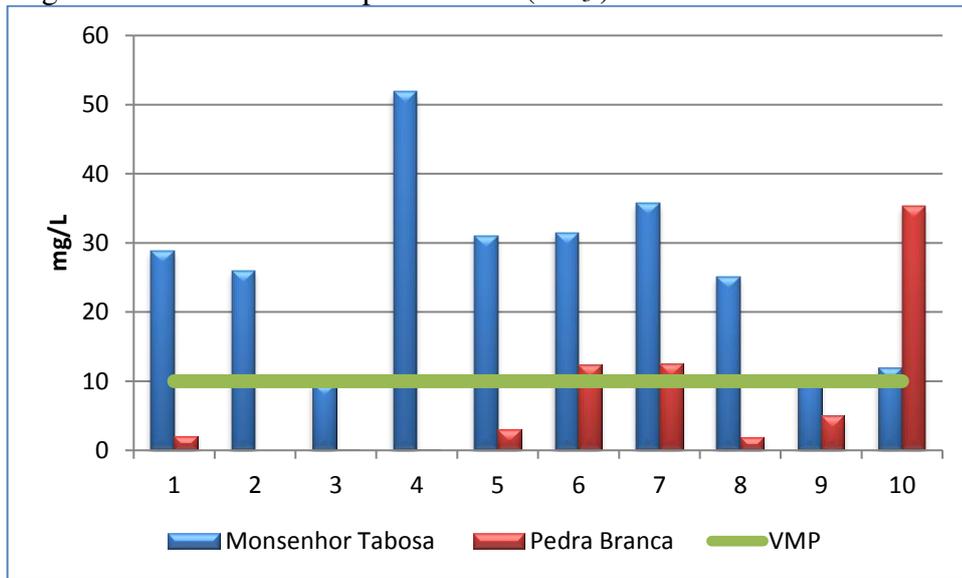
Conforme a figura abaixo, apenas o poço 3 do Município de Monsenhor Tabosa apresentou resultado não conforme do parâmetro ferro total, os demais estavam em conformidade com a legislação. O ferro ocorre geralmente associado ao manganês e confere à água um sabor amargo adstringente. O ferro é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o alumínio. Suas fontes são minerais escuros (máficos) como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios e no ambiente natural, a origem desse elemento pode estar relacionada a depósitos orgânicos, detritos de plantas, podendo associar-se a colóides ou húmus, o que dá a cor amarelada à água (CPRM, 2008).

Figura 8 – Valores obtidos para Ferro Total (Fe)



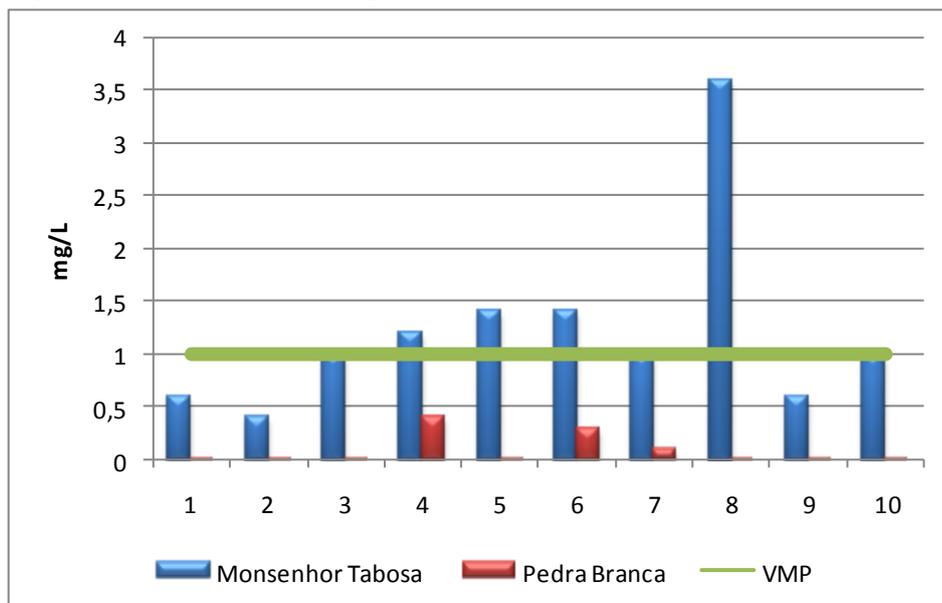
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas é o íon nitrato, que normalmente ocorre em aquíferos de zonas rurais e suburbanas. O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica. O excesso de íon nitrato em água potável é preocupante por causar em recém-nascidos a síndrome do bebê azul; e em adultos, conforme pesquisas, pode ser responsável por causar câncer de estômago, e aumentar a probabilidade de câncer de mama em mulheres (BAIRD; CANN, 2011). Teores acima de 5 mg/L podem ser um indicativo de contaminação da água subterrânea por atividades antrópicas, tais como esgotos, fossas sépticas, depósito de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais, dentre outros (CPRM, 2008). Assim como mostrado na figura abaixo 90% e 30 % dos resultados está fora dos padrões para os Municípios de Monsenhor Tabosa e Pedra Branca, respectivamente.

Figura 9 – Valores obtidos para Nitrato (NO_3^-)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

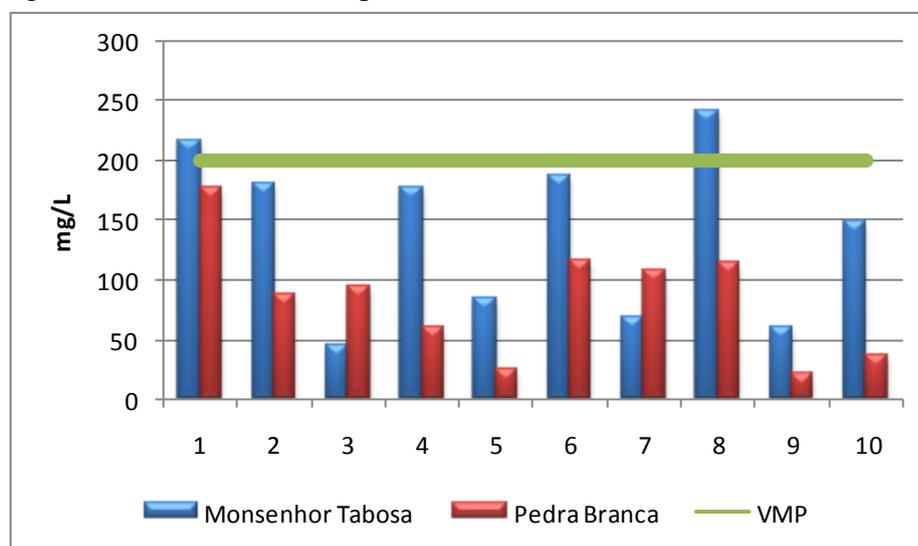
A presença de nitrito (NO_2^-) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente. As águas subterrâneas apresentam, geralmente, teores nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L (CPRM, 2008). No gráfico 5, os valores obtidos para Monsenhor Tabosa foram de 40% dos poços estavam acima do limite permitido, enquanto para Pedra Branca, observamos que todos os poços atendiam a legislação.

Figura 10 – Valores obtidos para Nitrito (NO_2^-)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O sódio é um dos metais mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Essa abundância está relacionada com as seguintes características: ampla distribuição nos minerais fontes, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus componentes químicos em solução. Nas águas subterrâneas o sódio ocorre, principalmente, sob a forma de cloretos. As águas com grandes concentrações desse metal são prejudiciais às plantas, por reduzir a permeabilidade do solo (CPRM, 2008). Em relação a esse parâmetro, 20% dos poços de Monsenhor Tabosa estão acima do permitido, os poços de Pedra Branca estão de acordo com a legislação.

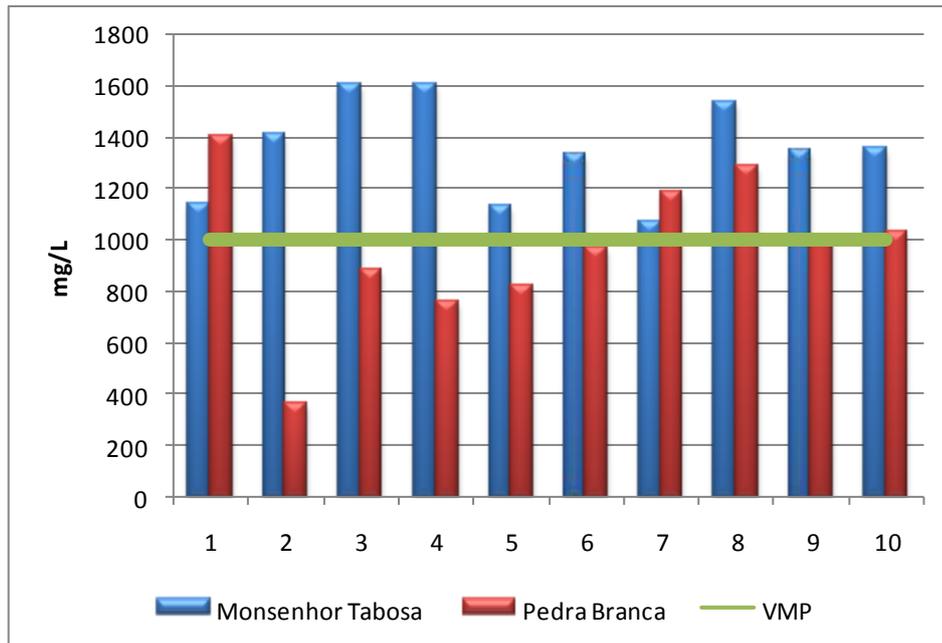
Figura 11 – Valores obtidos para Sódio (Na^+)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Sólidos Totais Dissolvidos é o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil (CPRM, 2008). A principal aplicação da determinação dos STD é de qualidade estética da água e como indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes. As substâncias dissolvidas podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, magnésio e sódio) que em altas concentrações podem ser prejudiciais à vida aquática (PARRON *et al.*, 2011).

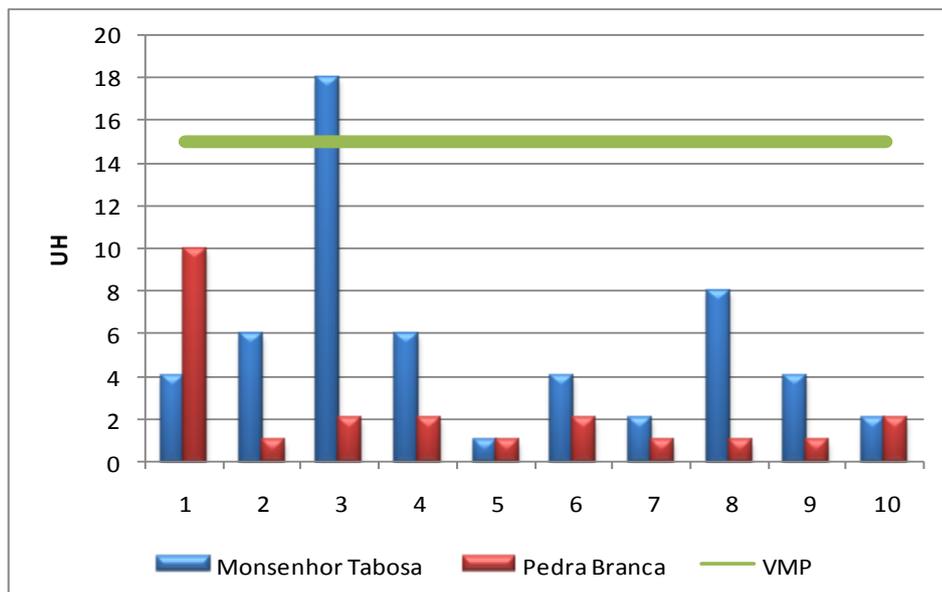
Figura 12 – Valores obtidos para Sólidos Totais Dissolvidos (STD)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A cor é esteticamente indesejada, visto que água de cor elevada causa rejeição por parte de consumidor. Segundo Sperling, a cor de origem natural não representa risco direto à saúde, porém a cor da água contendo matéria orgânica dissolvida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos, ex: clorofórmio). Para Monsenhor Tabosa, apenas o poço 3 das amostras estava acima do valor máximo permitido. Para Pedra Branca, todos os resultados estavam dentro do estabelecido pela legislação.

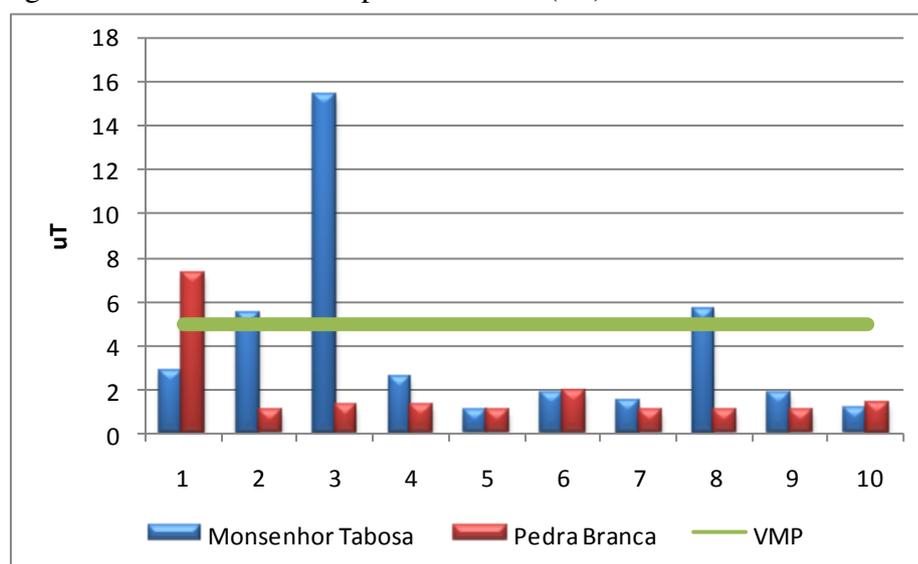
Figura 13 – Valores obtidos para Cor (UH).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A turbidez indica o grau de atenuação em que o feixe de luz sofre ao atravessar a água, que ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão, reduzindo sua transparência, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos (CETESB, 2018). O aumento de turbidez ocasiona em um uso maior de produtos químicos no tratamento da água. O valor máximo permitido para turbidez é 1,0 uT (unidade de turbidez) para água subterrânea desinfetada e 5 uT como padrão de aceitação para consumo humano. No gráfico abaixo, 30% dos poços de Monsenhor Tabosa estavam fora do limite estabelecido pela legislação, enquanto 10% dos poços de Pedra Branca.

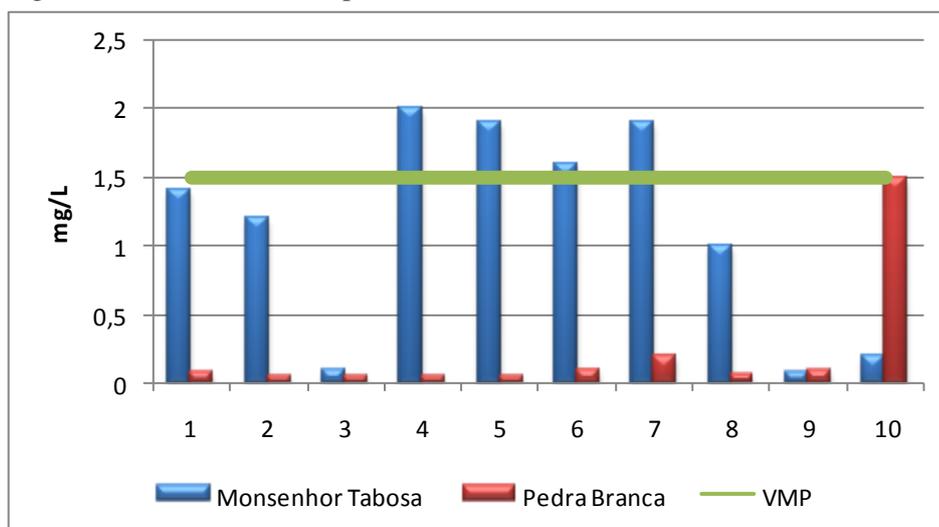
Figura 14 – Valores obtidos para Turbidez (uT)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A amônia total, ou nitrogênio amoniaco total, refere-se à soma das formas iônica (NH_4^+) e molecular (NH_3). Como pode se observar no gráfico abaixo, as águas dos poços do Município de Monsenhor Tabosa estavam fora dos padrões em relação à amônia total, com 40% das amostras acima do valor máximo permitido. Para o Município de Pedra Branca, todos os resultados estavam dentro do estabelecido pela legislação.

Figura 15 – Valores obtidos para Amônia Total



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O desvio padrão foi calculado utilizando os valores dos resultados da média de cada cidade, onde as médias foram obtidas por duplicata. Para saber se os resultados de uma determinada análise são representativos ou não, muitas vezes, observa-se a distribuição dos valores. Um resultado será considerado exato quando os valores obtidos estão próximos de um valor de referência. Um resultado será considerado preciso quando a dispersão entre os valores é pequena. O desvio padrão calculado diretamente pelo Excel, através da fórmula DESVPAD, obteve os valores abaixo. Para isso, bastou-se acessar a fórmula de funções, escolher DESVPAD, selecionar os valores para o cálculo do desvio padrão.

Tabela 8 – Resultados médios com desvio padrão

| Parâmetro | Monsenhor Tabosa | Pedra Branca |
|---------------------|------------------|----------------|
| Cloreto (mg/L) | 469,12 ± 0,127 | 266 ± 0,155 |
| Dureza Total (mg/L) | 774,09 ± 0,212 | 565,11 ± 0,141 |
| Ferro Total (mg/L) | 0,14 ± 0,017 | 0,1 ± 0,014 |
| Nitrato (mg/L) | 26,17 ± 0,056 | 7,29 ± 0,035 |
| Nitrito (mg/L) | 1,24 ± 0,035 | 0,1 ± 0,015 |
| Sódio (mg/L) | 140,67 ± 0,084 | 83,78 ± 0,092 |
| STD (mg/L) | 1353,32 ± 0,254 | 970,89 ± 0,240 |
| Cor (uH) | 5,55 ± 0,071 | 2,20 ± 0,141 |
| Turbidez (uT) | 3,93 ± 0,028 | 1,84 ± 0,021 |
| Amônia (mg/L) | 1,15 ± 0,016 | 0,22 ± 0,011 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5 CONCLUSÃO

Conforme a legislação, parte das águas dos poços analisados localizados no estado do Ceará, apresentaram-se impróprios para consumo humano do ponto de vista físico-químico. De maneira geral, as amostras de água analisadas em relação aos parâmetros físico-químicos na cidade de Monsenhor Tabosa mostraram-se fora dos padrões de qualidade de água, entretanto, alguns poços isoladamente atenderam à legislação em alguns parâmetros, por exemplo, ferro total, sódio e cor.

Em relação aos poços de Pedra Branca, os parâmetros que atenderam o limite estabelecido pela legislação foram ferro total, nitrito, sódio, sulfato, pH, cor e amônia total. Comparando esses resultados com os poços de Monsenhor Tabosa, podemos verificar que os poços de Pedra Branca possui água de melhor qualidade. Com relação ao resultado médio dos parâmetros, verificamos que mesmo alguns acima do limite os valores obtidos de Pedra Branca foram inferiores ao de Monsenhor Tabosa.

Com os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, observamos que os poços 2 e 4 de Pedra Branca estavam em conformidade com a legislação, entretanto, seria necessária análises bacteriológicas para verificação da potabilidade da água.

A profundidade média dos poços de Monsenhor Tabosa foi menor em comparação com os de Pedra Branca, dessa forma, de maneira geral, os poços mais profundos apresentaram uma melhor qualidade da água, entretanto, não foi possível estabelecer um padrão entre eles, haja vista que os poços 1 e 5 (mais rasos) apresentaram valores inferiores aos poços 3 e 8 (mais profundos) em relação ao parâmetro dureza total, por exemplo. Dessa forma, outros fatores podem influenciar na qualidade da água, como atividades humanas, características do entorno e das condições meteorológicas.

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO DO CEARÁ. Guia das Cidades. Disponível em: < www.anuariodoceara.com.br/cidades/>. Acesso em: 31 Mar. 2019.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and waste water**, 22st ed. Washington, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília. 2007.
- BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Environmental chemistry**. 3th ed. New York: W. H. Freeman, 2005.
- BECKER, H. **Controle Analítico de Águas**. Fortaleza – CE, Versão 4. p. 46, 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 05**, de 28 de setembro de 2017. Brasília-DF.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável: Território Cidadania do Sertão Central –MDA/SDT/UNITACE**. Fortaleza: Instituto Agropolos do Ceará, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Cartilha MMA, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Água, um recurso cada vez mais ameaçado**. Brasília: MMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf> Acesso em: 26 mar. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas**. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- CARVALHO, D. F; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Rio de Janeiro. 2006. (Apostila).
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno Regional da Sub-Bacia Do Banabuiú**. Fortaleza: INESP, 2009. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Bacia-do-Banabui%C3%BA.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- CEARÁ, IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza, 1997. Mapa colorido, Escala 1:1.500.000.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atlas**. Fortaleza, 1992.
- CETESB. **Fundamentos do controle de poluição das águas**. São Paulo. 2018. <<https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Aula-01-Controle-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas-Characteriza%C3%A7%C3%A3o->

Qualidade-21.07.18.pdf> Acesso em: 26 abr. 2019.

CLEARY, Robert W - **Águas Subterrâneas**. São Paulo, 1989. Pode ser obtido gratuitamente em http://www.clean.com.br/Menu_Artigos/cleary.pdf

COGERH. **Atlas dos Recursos Hídricos do Ceará**. 2019. Disponível em: <<http://atlas.cogerh.com.br/>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

COSTA, Luis. (2017). **Fragilidade ambiental nos sistemas ambientais e sítios urbanos no Vale do Rio Banabuiú - CE**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/ Figura-43-Localizacao-das-sedes-municipais-inseridas-na-bacia-hidrografica-do-rio_fig18_320908446>. Acesso em: 31 mar. 2019.

CPRM. Companhia de pesquisa de Recursos Minerais, **Princípios e conceitos básicos de água subterrânea: Ocorrência de água subterrânea**. 3ª ed. Prof. Rebouças, A. C. ATEPE, LABHID, 2008.

ENGENHARIA ONDE JÁ CIVIL. **O Ciclo da Água**. 2011. Disponível em <<http://engenhariaondejahcivil.blogspot.com.br/2011/03/o-ciclo-da-agua.html>>. Acesso em 02 jun. 2019.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FELLENBERG, Gunter. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. Tradução Juergen Henrich Maar. São Paulo: Springer, 1980.

FUNCEME. **Calendário das chuvas no estado do ceará**. Disponível em :<<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/anual>>. Acesso em: 31 abr. 2019.

HARTMAN, D. M. **Global Physical Climatology**. New York. Department of Atmosphere Sciences, University Washington. 408 p., 1996.

HELLER, L. e PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª edição revista e atualizada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

Instituto Geológico e Mineiro (2001). **Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro**. Instituto Geológico e Mineiro Versão Online no site do INETI: <[/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm](http://geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm)>. Acesso em: 19 fev. 2019.

JOHNSON, Edward E. **Água subterrânea e poços tubulares**. São Paulo. NH/ABES/CETESB. 1974.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba; ESALQ/USP, 1986.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PHILLIPPI, Jr. A. **Saneamento, Saúde e Ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. São Paulo: Barueri, 2005.

SHIKLOMANOV, I.A.. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21th century**. UNESCO, 1998.

SILVA, D. D. da.; MIGLIORINI, R. B.; SILVA, E. de C. e.; LIMA, Z. M de.; MOURAS, I. B de. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p 43-52, 2014.

STUDART, TICIANA M. CARVALHO. **Hidrologia**. Universidade Federal do Ceará – UFC, 2006.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

ZIMBRES, E. Disponível em :<<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

WHATELY, M.; CAMPANILI, M. **O século da escassez. Uma nova cultura de cuidado com a água: impasses e desafios**. 1. ed. São Paulo: Claro Enigma, 2016.